

ISSN 2658-6649

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

www.discover-journal.ru



Volume 15, Number 2
2023

ISSN 2658-6649 (print)
ISSN 2658-6657 (online)

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

Volume 15, Number 2
2023

Главный редактор:

Денговская Светлана Владимировна, доктор медицинских наук, профессор, ФБУН «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии» (п. Оболенск, г.о. Серпухов, Московская обл., Россия)

Заместители главного редактора:

Медведев Леонид Нестерович, доктор биологических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (Красноярск, Россия)

Оказова Зарина Петровна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО «Чеченский государственный педагогический университет» (Грозный, Россия)

Москаленко Ольга Леонидовна, кандидат биологических наук, НИИ МПС, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (Красноярск, Россия)

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

Научно-практический рецензируемый журнал
Peer-reviewed scientific-practical journal

Периодичность. 6 номеров в год / Periodicity. 6 issues per year

Том 15, № 2, 2023 / Vol. 15, No 2, 2023

Учредитель и издатель:

ООО Научно-инновационный центр

Журнал основан в 2008 году

Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
Свидетельство регистрации
ПИ № ФС 77 - 71726 от 30.11.2017 г.

Издания, текущие номера которых или их переводные версии входят хотя бы в одну из международных реферативных баз данных и систем цитирования, определяемых в соответствии с рекомендацией ВАК, **считаются включенными в перечень рецензируемых научных изданий**, в соответствии с их профилем (п. 5 Правил, Приказ Минобрнауки России от 31.05.2023 № 534).

Индексирование и реферирование:

Scopus
РИНЦ
Ulrich's Periodicals Directory
Cyberleninka
Google Scholar
ВИНИТИ РАН
DOAJ
BASE
EBSCO
WorldCat
OpenAIRE
ЭБС IPRbooks
ЭБС Znanium
ЭБС Лань

Адрес редакции, издателя и для корреспонденции:

Россия, 660127, Красноярский край,
г. Красноярск, ул. 9 Мая, 5 к. 192
E-mail: editor@discover-journal.ru
<http://discover-journal.ru/>

+7 (995) 080-90-42

Founder and publisher:

Science and Innovation Center
Publishing House

Founded 2008

Mass media registration certificate
PI № FS 77 - 71726,
issued November 30, 2017.

Journals whose current issues or their translated versions are included in at least one of the international reference databases and citation systems determined in accordance with the recommendation of the Higher Attestation Commission are **considered included in the list of peer-reviewed scientific journals**, in accordance with their profile (clause 5 of the Rules, Order Ministry of Education and Science of Russia dated May 31, 2023 No. 534).

Indexing and Abstracting:

Scopus
RSCI
Ulrich's Periodicals Directory
Cyberleninka
Google Scholar
VINITI Database RAS
DOAJ
BASE
EBSCO
WorldCat
OpenAIRE
IPRbooks
Znanium
Lan'

Editorial Board Office:

9 Maya St., 5/192, Krasnoyarsk,
660127, Russian Federation
E-mail: editor@discover-journal.ru
<http://discover-journal.ru/>

+7 (995) 080-90-42

Свободная цена

© Научно-инновационный центр, 2023

Члены редакционной коллегии

Александрова Оксана Юрьевна, доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Национальный научно-исследовательский институт общественного здоровья имени Н.А. Семашко» (Москва, Россия)

Ананьев Владимир Николаевич, доктор медицинских наук, профессор, Государственный научный центр РФ - Институт медико-биологических проблем РАН (Москва, Россия)

Анисимов Андрей Павлович, доктор медицинских наук, профессор, Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии Роспотребнадзора (Оболensk, Россия)

Ариичева Ирина Владимировна, доктор биологических наук, доцент, Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина (Краснодар, Россия)

Арутюнян Александр Вартанович, доктор биологических наук, профессор, Научно-исследовательский институт акушерства, гинекологии и репродуктологии им. Д.О. Отта (Санкт-Петербург, Россия)

Астарханова Тамара Саржановна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Российский университет дружбы народов (Москва, Россия)

Ашмарина Людмила Филипповна, доктор сельскохозяйственных наук, Сибирский федеральный научный центр агроботехнологий РАН (Новосибирск, Россия)

Балабо Петр Николаевич, доктор биологических наук, профессор, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия)

Балакирев Николай Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии - МВА им. К.И. Скрябина (Москва, Россия)

Барабанов Анатолий Тимофеевич, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Волгоград, Россия)

Батырбекова Светлана Есимбековна, доктор химических наук, профессор, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби (Алматы, Республика Казахстан)

Беленков Алексей Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Российский государственный аграрный университет - Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева (Москва, Россия)

Беляев Анатолий Аркадьевич, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Новосибирский го-

сударственный аграрный университет (Новосибирск, Россия)

Берсенева Евгения Александровна, доктор медицинских наук, профессор, ФГБУ «ВНИИИМТ» Росздравнадзора (Москва, Россия)

Буко Вячеслав Ульянович, доктор биологических наук, профессор, Институт биохимии биологически активных соединений НАН Беларуси (Гродно, Республика Беларусь)

Бяловский Юрий Юльевич, доктор медицинских наук, профессор, Рязанский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова (Рязань, Россия)

Виноградов Дмитрий Валериевич, доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО РГАТУ Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева (Рязань, Россия)

Виткина Татьяна Исааковна, доктор биологических наук, профессор РАН, Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания (Благовещенск, Россия)

Волкова Галина Владимировна, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, Федеральный научный центр биологической защиты растений (Краснодар, Россия)

Вольгин Владимир Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «МАГАРАЧ» (Ялта, Россия)

Воронина Валентина Павловна, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Волгоградский государственный аграрный университет (Волгоград, Россия)

Гармаев Ендон Жамьянович, доктор географических наук, доцент, профессор РАН, член-корреспондент РАН, Байкальский институт природопользования СО РАН (Улан-Удэ, Россия)

Гинс Мурат Сабирович, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» (п. ВНИИССОК, Россия)

Глотов Александр Гаврилович, доктор ветеринарных наук, профессор, Сибирский федеральный научный центр агроботехнологий РАН (Новосибирск, Россия)

Головин Сергей Евгеньевич, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства (Москва, Россия)

Голохваст Кирилл Сергеевич, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, профессор РАН, Сибирский федеральный научный центр агроботехнологий РАН (Новосибирск, Россия)

Гомбов Евгений Александрович, доктор географических наук, профессор, Байкальский институт природопользования СО РАН (Улан-Удэ, Россия)

Гончаров Сергей Владимирович, доктор биологических наук, доцент, Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина (Краснодар, Россия)

Грязкин Анатолий Васильевич, доктор биологических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова (Санкт-Петербург, Россия)

Денисов Сергей Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Поволжский государственный технологический университет (Иошкар-Ола, Россия)

Дерягина Лариса Евгеньевна, доктор медицинских наук, профессор, Московский университет МВД РФ им. В.Я. Кикотя (Москва, Россия)

Дьякович Марина Пинхасовна, доктор биологических наук, профессор, Ангарский государственный технический университет (Ангарск, Россия)

Жмылев Павел Юрьевич, доктор биологических наук, доцент, Государственный университет «Дубна» (Москва, Россия)

Зайцев Владимир Владимирович, доктор биологических наук, профессор, Самарский государственный аграрный университет (Самара, Россия)

Залесов Сергей Вениаминович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Уральский государственный лесотехнический университет (Екатеринбург, Россия)

Зудилин Сергей Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Самарский государственный аграрный университет (Самара, Россия)

Иванова Маиса Афанасьевна, доктор медицинских наук, профессор, ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Москва, Россия)

Иванченко Вячеслав Иосифович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского (Симферополь, Россия)

Казакова Алия Сабировна, доктор биологических наук, профессор, Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ (Зерноград, Россия)

Казыдуб Нина Григорьевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина (Омск, Россия)

Калигин Алексей Николаевич, доктор медицинских наук, профессор, МВА, Иркутский государственный медицинский университет (Иркутск, Россия)

Карганов Михаил Юрьевич, доктор биологических наук, профессор, Научно-исследовательский

институт общей патологии и патофизиологии (Москва, Россия)

Кашеваров Николай Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, академик РАН, Сибирский федеральный научный центр агроботехнологий РАН (Новосибирск, Россия)

Клименко Виктор Павлович, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «МАГАРАЧ» (Ялта, Россия)

Ковалев Николай Николаевич, доктор биологических наук, старший научный сотрудник, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет (Владивосток, Россия)

Козлов Василий Владимирович, кандидат медицинских наук, доцент, Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Москва, Россия)

Колесников Сергей Ильич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Южный федеральный университет (Ростов-на-Дону, Россия)

Коробова Лариса Николаевна, доктор биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет» (Новосибирск, Россия)

Кузин Андрей Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина (Мичуринск, Россия)

Кузьмин Сергей Владимирович, доктор медицинских наук, профессор, Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора (Мытищи, Россия)

Лесовская Марина Игоревна, доктор биологических наук, профессор, Красноярский государственный аграрный университет (Красноярск, Россия)

Лисняк Анатолий Анатольевич, кандидат сельскохозяйственных наук, Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина (Харьков, Украина)

Лиховской Владимир Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «МАГАРАЧ» (Ялта, Россия)

Мазиров Михаил Арнольдович, доктор биологических наук, профессор, Российский государственный аграрный университет - Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева (Москва, Россия)

Манаенков Александр Сергеевич, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН (Волгоград, Россия)

Манчук Валерий Тимофеевич, доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН,

Красноярский научный центр СО РАН (Красноярск, Россия)

Марзанов Нурбий Сафарбиевич, доктор биологических наук, профессор, Федеральный исследовательский центр животноводства - ВИЖ им. акад. Л.К. Эрнста (Подольск, Россия)

Мельченко Александр Иванович, доктор биологических наук, доцент, Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина (Краснодар, Россия)

Меньшикова Лариса Ивановна, доктор медицинских наук, профессор, Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования (Москва, Россия)

Минигалиева Ильзира Амировна, доктор биологических наук, Екатеринбургский медицинский научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промышленных предприятий (Екатеринбург, Россия)

Мойсенок Андрей Георгиевич, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси, Институт биохимии биологически активных соединений НАН Беларуси (Гродно, Республика Беларусь)

Монахос Сократ Григорьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор РАН, Российский государственный аграрный университет - Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева (Москва, Россия)

Музурова Людмила Владимировна, доктор медицинских наук, профессор, Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского (Саратов, Россия)

Мухортов Дмитрий Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Поволжский государственный технологический университет (Йошкар-Ола, Россия)

Насыбуллина Галия Максумовна, доктор медицинских наук, профессор, Уральский государственный медицинский университет (Екатеринбург, Россия)

Науанова Айнаш Пахуашовна, доктор биологических наук, профессор, Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина (Астана, Республика Казахстан)

Никитюк Дмитрий Борисович, доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи (Москва, Россия)

Остренко Константин Сергеевич, доктор биологических наук, Федеральный исследовательский центр животноводства - ВИЖ им. акад. Л.К. Эрнста (Подольск, Россия)

Панкрушина Алла Николаевна, доктор биологических наук, профессор, Тверской государственный университет (Тверь, Россия)

Паштецкий Владимир Степанович, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, член-корреспондент РАН, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма (Симферополь, Россия)

Полунин Валерий Сократович, доктор медицинских наук, профессор, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова (Москва, Россия)

Полунина Наталья Валентиновна, доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова (Москва, Россия)

Поползухина Нина Алексеевна, доктор сельскохозяйственных наук, Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина (Омск, Россия)

Пронина Галина Изоповна, доктор биологических наук, доцент, Российский государственный аграрный университет - Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева (Москва, Россия)

Пуликов Анатолий Степанович, доктор медицинских наук, профессор, отличник здравоохранения РФ, Красноярский научный центр СО РАН (Красноярск, Россия)

Рапопорт Жан Жозефович, доктор медицинских наук, профессор, отличник здравоохранения СССР, заслуженный изобретатель СССР, НИИ МПС (Россия/Израиль)

Рахимов Александр Иманулович, доктор химических наук, профессор, Волгоградский государственный технический университет (Волгоград, Россия)

Рахимова Надежда Александровна, доктор химических наук, профессор, Волгоградский государственный технический университет (Волгоград, Россия)

Родин Игорь Алексеевич, доктор ветеринарных наук, профессор, Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина (Краснодар, Россия)

Рожко Татьяна Владимировна, кандидат биологических наук, доцент, Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого (Красноярск, Россия)

Рулев Александр Сергеевич, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия (Волгоград, Россия)

Саввина Надежда Валерьевна, доктор медицинских наук, профессор, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова (Якутск, Россия)

Савельева Наталья Николаевна, доктор биологических наук, Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина (Мичуринск, Россия)

Сетков Николай Александрович, доктор биологических наук, профессор, Сибирский федеральный университет (Красноярск, Россия)

Смелик Виктор Александрович, доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (Санкт-Петербург, Россия)

Суханова Светлана Фаилевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева (Лесниково, Россия)

Сычев Виктор Гаврилович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова (Москва, Россия)

Тармаева Инна Юрьевна, доктор медицинских наук, профессор, Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи (Москва, Россия)

Терещенко Сергей Юрьевич, доктор медицинских наук, профессор, Красноярский научный центр СО РАН (Красноярск, Россия)

Торопова Елена Юрьевна, доктор биологических наук, профессор, Новосибирский государственный аграрный университет (Новосибирск, Россия)

Трифорова Татьяна Анатольевна, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, почётный работник высшего профессионального образования Российской Федерации,

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия)

Трунов Юрий Викторович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Мичуринский государственный аграрный университет (Мичуринск, Россия)

Тыщенко Елизавета Алексеевна, доктор технических наук, доцент, Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия (Кемерово, Россия)

Упадышев Михаил Тарьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, член-корреспондент РАН, ФГБНУ Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства (Москва, Россия)

Черных Наталья Анатольевна, доктор биологических наук, профессор, Московский государственный институт международных отношений (университет) (Москва, Россия)

Чернявских Владимир Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В.Р. Вильямса (Лобня, Россия)

Шнайдер Наталья Алексеевна, доктор медицинских наук, профессор, Национальный медицинский исследовательский центр психиатрии и неврологии им. В.М. Бехтерева (Санкт-Петербург, Россия)

Юшков Андрей Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина (Мичуринск, Россия)

Editorial Board Members

Oksana Yu. Alexandrova, Doctor of Medical Sciences, Professor, National Research Institute of Public Health named after N.A. Semashko (Moscow, Russia)

Vladimir N. Ananiev, Doctor of Medical Sciences, Professor, State Scientific Center of the Russian Federation - Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

Andrey P. Anisimov, Doctor of Medical Sciences, Professor, State Research Center for Applied Microbiology and Biotechnology of Rospotrebnadzor (Obolensk, Russia)

Irina V. Arinicheva, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Krasnodar, Russia)

Alexander V. Arutyunyan, Doctor of Biological Sciences, Professor, Research Institute of Obstetrics, Gynecology and Reproductology named after D. O. Ott (St. Petersburg, Russia)

Tamara S. Astarkhanova, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Peoples' Friendship University of Russia (Moscow, Russia)

Lyudmila F. Ashmarina, Doctor of Agricultural Sciences, Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)

Petr N. Balabko, Doctor of Biological Sciences, Professor, Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

Nikolai A. Balakirev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K. I. Skryabin (Moscow, Russia)

Anatoly T. Barabanov, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Aforestation of the Russian Academy of Sciences (Volgograd, Russia)

Svetlana Ye. Batyrbekova, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Republic of Kazakhstan)

Aleksey I. Belenkov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia)

Anatoly A. Belyaev, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)

Evgenia A. Berseneva, Doctor of Medical Sciences, Professor, All-Russian Research and Testing Institute of Medical Equipment (Moscow, Russia)

Vyacheslav U. Buko, Doctor of Biological Sciences, Professor, Institute of Biochemistry of Biologically Active Compounds of the National Academy of Sciences of Belarus (Grodno, Republic of Belarus)

Yury Yu. Byalovsky, Doctor of Medical Sciences, Professor, Ryazan State Medical University named after academician I.P. Pavlova (Ryazan, Russia)

Dmitry V. Vinogradov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev (Ryazan, Russia)

Tatyana I. Vitkina, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Far Eastern Scientific Center for Physiology and Pathology of Respiration (Blagoveshchensk, Russia)

Galina V. Volkova, Doctor of Biological Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Federal Scientific Center for Biological Plant Protection (Krasnodar, Russia)

Vladimir A. Volynkin, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking "Magarach" (Yalta, Russia)

Valentina P. Voronina, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Volgograd State Agrarian University (Volgograd, Russia)

Endon Zh. Garmaev, Doctor of Geography, Associate Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Baikal Institute of Nature Management Siberian branch of the Russian Academy of Sciences (Ulan-Ude, Russia)

Murat S. Gins, Doctor of Biological Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Federal Scientific Center for Vegetable Growing (VNISSOK, Russia)

Aleksandr G. Glotov, Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)

Sergey E. Golovin, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Federal Scientific Breeding and Technological Center for Horticulture and Nursery (Moscow, Russia)

Kirill S. Golokhvast, Doctor of Biological Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Education, Professor of the Russian Academy of Sciences, Siberian Federal Scientific Center for Agricultural Biotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)

Bair O. Gomboev, Doctor of Geography, Professor, Baikal Institute of Nature Management Siberian branch of the Russian Academy of Sciences (Ulan-Ude, Russia)

Sergey V. Goncharov, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Krasnodar, Russia)

Anatoly V. Gryzakin, Doctor of Biological Sciences, Professor, Saint-Petersburg State Forest Technical

University named after S.M. Kirova (St. Petersburg, Russia)

Sergey A. Denisov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volga State Technological University (Yoshkar-Ola, Russia)

Larisa E. Deryagina, Doctor of Medical Sciences, Professor, Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation named after V.Y. Kikot (Moscow, Russia)

Marina P. Dyakovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Angarsk State Technical University (Angarsk, Russia)

Pavel Yu. Zhmylev, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, State University "Dubna" (Moscow, Russia)

Vladimir V. Zaitsev, Doctor of Biological Sciences, Professor, Samara State Agrarian University (Samara, Russia)

Sergey V. Zalesov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Ural State Forest Engineering University (Yekaterinburg, Russia)

Sergey N. Zudilin, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Samara State Agrarian University (Samara, Russia)

Maisa A. Ivanova, Doctor of Medical Sciences, Professor, Federal State Budgetary Institution "Central Research Institute for the Organization and Informatization of Healthcare" of the Ministry of Health of the Russian Federation (Moscow, Russia)

Vyacheslav I. Ivanchenko, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, V.I. Vernadsky Crimean Federal University (Simferopol, Russia)

Aliya S. Kazakova, Doctor of Biological Sciences, Professor, Azov-Chernomorsk Engineering Institute, Donskoy State Agrarian University (Zernograd, Russia)

Nina G. Kazydub, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Omsk State Agrarian University named after P. Stolypin (Omsk, Russia)

Aleksey N. Kalyagin, Doctor of Medical Sciences, Professor, MBA, Irkutsk State Medical University (Irkutsk, Russia)

Mikhail Yu. Karganov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Research Institute of General Pathology and Pathophysiology (Moscow, Russia)

Nikolay I. Kashevarov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Academician of the Russian Academy of Sciences, Siberian Federal Scientific Center for Agricultural Biotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)

Viktor P. Klimenko, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking "Magarach" (Yalta, Russia)

Nikolai N. Kovalev, Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher, Far Eastern State Technical Fisheries University (Vladivostok, Russia)

Vasily V. Kozlov, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Moscow, Russia)

Sergey I. Kolesnikov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Southern Federal University (Rostov-on-Don, Russia)

Larisa N. Korobova, Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)

Andrey I. Kuzin, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, I.V. Michurin Federal Research Center (Michurinsk, Russia)

Sergey V. Kuzmin, Doctor of Medical Sciences, Professor, Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman (Mytishchi, Russia)

Marina I. Lesovskaya, Doctor of Biological Sciences, Professor, Krasnoyarsk State Agrarian University (Krasnoyarsk, Russia)

Anatoly A. Lisnyak, Candidate of Agricultural Sciences, V. N. Karazin Kharkiv National University (Kharkiv, Ukraine)

Vladimir V. Likhovskoy, Doctor of Agricultural Sciences, All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking "Magarach" (Yalta, Russia)

Mikhail A. Mazirov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia)

Alexander S. Manaenkov, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Federal Research Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Volgograd, Russia)

Valery T. Manchuk, Doctor of Medical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Krasnoyarsk, Russia)

Nurbiy S. Marzanov, Doctor of Biological Sciences, Professor, L.K. Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry (Podolsk, Russia)

Alexander I. Melchenko, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Krasnodar, Russia)

Larisa I. Menshikova, Doctor of Medical Sciences, Professor, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education (Moscow, Russia)

Ilzira A. Minigalieva, Doctor of Biological Sciences, Yekaterinburg Medical Research Center for Prevention and Health Protection of Industrial Workers (Yekaterinburg, Russia)

Andrei G. Moisenok, Doctor of Biological Sciences, Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Institute of Biochemistry of Biologically Active Compounds of the

National Academy of Sciences of Belarus (Grodno, Republic of Belarus)

Sokrat G. Monakhos, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia)

Lyudmila V. Muzurova, Doctor of Medical Sciences, Professor, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky (Saratov, Russia)

Dmitry I. Mukhortov, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volga State Technological University (Yoshkar-Ola, Russia)

Galia M. Nasybullina, Doctor of Medical Sciences, Professor, Ural State Medical University (Yekaterinburg, Russia)

Ainash P. Nauanova, Doctor of Biological Sciences, Professor, S.Seifullin Kazakh AgroTechnical Research University (Astana, Republic of Kazakhstan)

Dmitry B. Nikityuk, Doctor of Medical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety (Moscow, Russia)

Konstantin S. Ostrenko, Doctor of Biological Sciences, L.K. Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry (Podolsk, Russia)

Alla N. Pankrushina, Doctor of Biological Sciences, Professor, Tver State University (Tver, Russia)

Vladimir S. Pashtetsky, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Research Institute of Agriculture of the Crimea (Simferopol, Russia)

Valeriy S. Polunin, Doctor of Medical Sciences, Professor, Pirogov Russian National Research Medical University (Moscow, Russia)

Natalya V. Polunina, Doctor of Medical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Pirogov Russian National Research Medical University (Moscow, Russia)

Nina A. Popolzukhina, Doctor of Agricultural Sciences, Omsk State Agrarian University named after P. Stolypin (Omsk, Russia)

Galina I. Pronina, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia)

Anatoly S. Pulikov, Doctor of Medical Sciences, Professor, Excellence in Public Health of the Russian Federation, Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Krasnoyarsk, Russia)

Zhan Zh. Rapoport, Doctor of Medical Sciences, Professor, Excellence in Public Health of the USSR, Honored Inventor of the USSR, Research Institute of the Ministry of Railways (Russia/Israel)

Alexander I. Rakhimov, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (Volgograd, Russia)

Nadezhda A. Rakhimova, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (Volgograd, Russia)

Igor A. Rodin, Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Krasnodar, Russia)

Tatyana V. Rozhko, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Krasnoyarsk State Medical University named after Professor V.F. Voino-Yasnetsky (Krasnoyarsk, Russia)

Alexander S. Rulev, Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture (Volgograd, Russia)

Nadezhda V. Savvina, Doctor of Medical Sciences, Professor, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University in Yakutsk (Yakutsk, Russia)

Natalya N. Savelyeva, Doctor of Biological Sciences, I.V. Michurin Federal Research Center (Michurinsk, Russia)

Nikolai A. Setkov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Siberian Federal University (Krasnoyarsk, Russia)

Viktor A. Smelik, Doctor of Technical Sciences, Professor, St. Petersburg State Agrarian University (St. Petersburg, Russia)

Svetlana F. Sukhanova, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Kurgan State Agricultural Academy named after T.S. Maltsev (Lesnikovo, Russia)

Viktor G. Sychev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov (Moscow, Russia)

Inna Yu. Tarmaeva, Doctor of Medical Sciences, Professor, Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety (Moscow, Russia)

Sergey Yu. Tereshchenko, Doctor of Medical Sciences, Professor, Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Krasnoyarsk, Russia)

Elena Yu. Toropova, Doctor of Biological Sciences, Professor, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)

Tatyana A. Trifonova, Doctor of Biological Sciences, Professor, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

Yury V. Trunov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Michurinsk State Agrarian University (Michurinsk, Russia)

Elizaveta A. Tyshchenko, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Kuzbass State Agricultural Academy (Kemerovo, Russia)

Mikhail T. Upadyshev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Federal State Budget Scientific Institution Federal Scientific Selection and Technological Center for Horticulture and Nursery (Moscow, Russia)

Natalya A. Chernykh, Doctor of Biological Sciences, Professor, Moscow State Institute of International Relations (University) (Moscow, Russia)

Vladimir I. Chernyavskikh, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology (Lobnya, Russia)

Natalya A. Schneider, Doctor of Medical Sciences, Professor, Bekhterev National Medical Research Center for Psychiatry and Neurology (St. Petersburg, Russia)

Andrey N. Yushkov, Doctor of Agricultural Sciences, I.V. Michurin Federal Research Center (Michurinsk, Russia)

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**BIOLOGICAL SCIENCES****DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-11-23****UDC 619:636.271**

Original article | Animal Husbandry

**RELEVANCE OF THE USE
OF POSTMORTEM BIOMATERIAL OF DOMESTICATED
YAK (*BOS GRUNNIENS*) TO OBTAIN STEM CELLS
FROM BONE MARROW*****D.V. Dashko, I.I. Silkin***

The development of new technology methods for cryopreservation of animal cells has contributed to the introduction of stem cell banks for clinical use, including transplantation and regenerative veterinary medicine, and their further use to avoid problems of donors' shortage. The research aims to determine the possibility of using the bone marrow of a domesticated yak as a source of stem cells after slaughter. Moreover, we should determine the suitability of post-mortem biological material for obtaining stem cells based on the index of proliferation and viability of cultured cells. Therefore, we used the following materials and methods: bone marrow, obtained from the femur of a domesticated yak in the post-slaughter period. Bone marrow samples were taken in compliance with the rules of asepsis in a sterile test tube. Thus, we added 0.25% trypsin solution to the biomass (the ratio of bone marrow to the solution is 10:1) and placed it in a refrigerator (t +40 °C) for 24 hours for enzymatic disaggregation. Furthermore, we carried out the culturing of the obtained cells in a CO₂ incubator according to the standard method with passivation after the formation of a monolayer by 90%–100%. When culturing a suspension of cells obtained from post-slaughter bone marrow material, we noted the appearance of cell colonies six days after sowing. Periodic passivation of stem cells contributed to an increase in the biomass of actively proliferating cells. In addition, we found that stem cells isolated from post-slaughter bone marrow material of domesticated yak have significant proliferative potential, as evidenced by proliferation indices in the

range from the first to the third passages and high cell viability. Thus, one can use the obtained post-mortem material in the form of the bone marrow of a domesticated yak as an additional source of stem cells. This post-mortem biological material is suitable for the isolation of stem cells 72 hours after the slaughter of an animal, which opens up the possibility of its transportation over long distances.

The scientific novelty of the research is in the context of the international Convention on Biological Diversity, which means the variability of living organisms from all sources, including ecosystems and ecological complexes they are a part of. Within the strategy and action plan for the conservation of biodiversity of the Russian Federation, the ecosystem service of livestock production is significant for preserving the traditional way of life of the indigenous peoples of Siberia and the Russian Far East (it has regional and local significance). This global problem can be solved by (1) developing cell technologies for species not yet involved in it and (2) improving existing ones.

Keywords: domesticated yak; biological material; bone marrow; stem cells; proliferative potential; proliferation index

For citation. Dashko D.V., Silkin I.I. Relevance of the Use of Postmortem Biomaterial of Domesticated Yak (*Bos Grunniens*) to Obtain Stem Cells from Bone Marrow. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 11-23. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-11-23

Научная статья | Общее животноводство

АКТУАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОСМЕРТНОГО БИОМАТЕРИАЛА ДОМАШНЕГО ЯКА (*BOS GRUNNIENS*) ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК ИЗ КОСТНОГО МОЗГА

Д.В. Дашко, И.И. Силкин

Развитие методов современной технологии криоконсервации клеток животных способствовало внедрению концепции создания банков стволовых клеток для клинического применения, включая трансплантацию и регенеративную ветеринарную медицину, и их дальнейшего использования во избежание проблем с нехваткой доноров. Цель данного исследования – определить возможность использования костного мозга домашнего яка в качестве источника стволовых клеток после убоя и на основе индекса пролиферации и жизнеспособности культивируемых клеток определить

пригодность посмертного биологического материала для получения стволовых клеток. Материалы и методы: костный мозг был получен из бедренной кости домашнего яка в послеубойный период. Образцы костного мозга отбирали с соблюдением правил асептики в стерильную пробирку и к биомассе добавляли 0,25% раствор трипсина (соотношение костного мозга к раствору 10: 1) и помещали в холодильник ($t + 40^{\circ} \text{C}$) на 24 часа для ферментативной дезагрегации. Культивирование полученных клеток проводили в CO_2 -инкубаторе по стандартной методике с пассированием после образования монослоя на 90–100%. Результаты: при культивировании суспензии клеток, полученных из послеубойного материала костного мозга, отмечалось появление колоний клеток через 6 дней после посева. Периодическое пассирование стволовых клеток способствовали увеличению биомассы активно пролиферирующих клеток. Было установлено, что стволовые клетки, выделенные из послеубойного материала костного мозга домашнего яка, обладают значительным пролиферативным потенциалом, о чем свидетельствуют индексы пролиферации в диапазоне от первого до третьего пассажей и высокая жизнеспособность клеток. Заключение: полученный посмертный материал в виде костного мозга домашнего яка можно использовать как дополнительный источник стволовых клеток. Этот постмортальный биологический материал подходит для выделения стволовых клеток через 72 часа после убоя животного, что открывает возможности его транспортировки на большие расстояния.

Научная новизна проведенного исследования обусловлена в контексте международной конвенции о биологическом разнообразии, которая означает вариабельность живых организмов из всех источников, включая экосистемы, экологические комплексы, частью которых они являются. В рамках стратегии и плана действий по сохранению биологического разнообразия Российской Федерации экосистемная услуга производства животноводческой продукции важна для сохранения традиционного уклада жизни коренных народов Сибири и Дальнего Востока России, имеет региональное и локальное значение. Данная глобальная проблема может быть решена при помощи разработки клеточных технологий видов, еще не вовлеченных в нее, и совершенствование имеющихся.

Ключевые слова: домашний yak; биологический материал; костный мозг; стволовые клетки; пролиферативный потенциал; индекс пролиферации

Для цитирования. Дашко Д.В., Силкин И.И. Актуальность использования посмертного биоматериала домашнего яка (*Bos Grunniens*) для получения стволовых клеток из костного мозга // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №2. С. 11–23. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-11-23

Introduction

However, all multicellular organisms contain stem cells. These cells can interact with the culture medium, actively proliferate and differentiate into specialized types of mature cells [1; 2; 5; 9; 10; 12; 21; 22]. For clinical and research purposes, stem cells are usually obtained from bone marrow, blood, and adipose tissue of human [6; 14; 18]. These structures contain a large number of stem cells, which are easily accessible and cost-effective for isolation [6; 17]. Since the bone marrow is the primary source of stem cells, the choice of selecting bone marrow cells is the basis of biotechnological methods for their production [3; 8]. In addition, we obtained information about the production of male germ cells from the post-mortem material of the testes of male sable [20].

The development of modern technology methods of cryopreservation of animal cells contributed to the introduction of creating stem cell banks for their further use in order to avoid problems with a shortage of donors. Large-scale cryopreservation of stem cells began in the 1990s of the last century to create human cord blood banks [15]. The functioning of cryobanks gradually expanded with the advent of technologies for cryopreservation of umbilical cord tissue and, finally, adipose tissue [19]. One can use cryopreserved allogeneic stem cells for research and clinical applications, including transplantation and regenerative medicine.

Currently, methods of isolation and cryopreservation of animal stem cells have been improved [4; 11]. At the same time, we need to obtain cellular material, a source suitable for the isolation of stem cells. Thus, it is recommended to consider the slaughter material of productive animals as a source of some tissues, particularly muscles and bone marrow. Since stem cells can persist for quite a long time after death [7; 13; 16].

In veterinary medicine, the issue of material support for separating bone marrow from animals is no less acute than the long-term storage of stem cells. In most cases, bone marrow sampling takes place outside of a specialized laboratory, and transportation can be required for the delivery of the biomaterial, which is not always feasible in the field. In this regard, it is relevant to study the prospects of using bone marrow stem cells as a biomaterial obtained after the slaughter of animals, as well as determine the time during which the cells retain their viability and are suitable for cultivation.

The scientific novelty of the research is in the context of the international Convention on Biological Diversity, which means the variability of living organisms from all sources, including ecosystems and ecological complexes they are a part of. This concept includes diversity within a species, between species, and diversity of systems. A variety of life forms and ecological processes ensure the

continuation of biological evolution, which is a necessary condition for human well-being. Within the strategy and action plan for the conservation of biodiversity of the Russian Federation, the ecosystem service of livestock production has, first, regional and local significance; the recreational component of this service is also great. In addition, it is important for the preservation of the traditional way of life of the indigenous peoples of Siberia and the Russian Far East.

Currently, the development of a bioresource management strategy that could ensure (1) a high yield of useful products, (2) the preservation of natural diversity, and (3) a balanced abundance of zoo components of natural ecosystems is becoming increasingly important for biotechnology of animal reproduction. This global problem can be solved by developing cell technologies (obtaining and incubating stem cells) of species not yet involved in it and improving existing ones. The stem cell technology should be studied for all living animal species.

Thus, the studies conducted in this direction (obtaining biomaterial from bone marrow) would represent a great scientific and practical potential for practical veterinary medicine and medicine.

The research aims to establish the possibility of using the bone marrow of domesticated yak as a producer of stem cells in the post-slaughter period.

Materials and Methods

We obtained Bone marrow from the femur of a domesticated yak at the age of two years in the post-slaughter period. Before bone marrow sampling, we treated the bone surface in the proximal epiphysis area with 70% ethyl alcohol solution. After gaining access to the bone marrow canal, we collected the bone marrow with sterile tweezers into a sterile tube with 0.25% trypsin solution (the ratio of bone marrow to trypsin solution is 10: 1) and placed it in the refrigerator for 24 hours at a temperature of + 4 ° C for enzymatic disaggregation. The resulting suspension of cells was mechanically disaggregated for 5 minutes on a magnetic stirrer, filtered through 4 layers of gauze tissue into sterile centrifuge tubes with a volume of 15 ml and centrifuged at an acceleration of 300 g for 10 minutes. Under standard conditions, we placed the cell sediment for cultivation in a CO₂ incubator. No more than three days have passed since the slaughter of the animal and before the sowing of bone marrow cells.

We cultured the cells in a CO₂ incubator in Petri dishes according to the standard procedure.

Furthermore, we counted the number of cells in all squares of the Goryaev counting chamber under 200x magnification and calculated by the formula:

$$X = A \times 1000 / 0,9, \quad (1)$$

Where:

X – the number of cells in 1 cm³;

A - the number of cells in all squares;

1000 - the number in mm³ and cm³;

0.9 - the volume of the Goryaev chamber in mm³.

We carried out studies of the proliferative activity of stem cells in three passages, seeding them into Petri dishes at the rate of 250 thousand cells. Therefore, we determined the stem cell proliferation index 24 hours after sowing according to the formula:

$$DI = AP / SN, \quad (2)$$

Where:

DI - distribution index;

AP - number of cells after passage;

SN - the seating number of cells.

We determined cell viability using a 0.4% trypan blue dye solution followed by microscopy.

Consequently, we used the software package “Statistica” for the mathematical analysis of the data obtained.

Results

When cultivating a suspension of bone marrow stem cells obtained from post-slaughter material of domesticated yak, we found out that cell colonies began to appear on the seventh day after sowing. At first, the colonies were isolated, represented by cells in the amount of 30-50 pieces, which subsequently grew and merged with other colonies, forming a continuous monolayer. At the same time, the cells, which had a characteristic fibroblast-like morphology and actively multiplied on the first day after sowing, were uniformly attached to the bottom of Petri dishes (cell confluence is, on average, 85%). Subsequent replanting of the obtained stem cells helped to increase the mass of actively proliferating cells.

Moreover, we identified that bone marrow stem cells isolated from post-slaughter biomaterial of domesticated yak have high viability and significant proliferative potential, as evidenced by the proliferation index from the first to the third passages (see Table 1).

At the same time, the indicators of the biomaterial proliferation index did not change significantly depending on the passage and were approximately at the same level. The viability of cultured cells increased from 83% to 92% in the first and third passages, respectively, resulting from a decrease in the heterogeneity of the bioculture.

Table 1.

Proliferative activity and viability of bone marrow cells of domesticated yak depending on the passage

Number of passages	Number of cells, thousand	Proliferation index	Viability, %
1	325.18 ± 2.16	1.27	83
2	327.67 ± 2.92	1.28	89
3	328.43 ± 2.44	1.28	92

Discussion

The results on the production of stem cells from bone marrow are one of the main production sources for clinical and research applications, consistent with several researchers [5; 6; 9; 12; 18].

At the same time, one can use the post-mortem bone marrow material of a domesticated yak as a source of stem cells. This aspect coincides with a number of research regarding the use of slaughter material for the production of stem cells [1; 4; 10; 14]. Moreover, there is no need to carry out a lifetime bone marrow sampling from an animal, avoiding the potential risks of postoperative complications.

In addition, the isolation of stem cells from post-slaughter material is cheaper than the need to perform this procedure on live animals, since funds are not spent on expensive medical devices (e.g., for the anesthesia of animals and instruments).

Thus, the post-mortem bone marrow material of a domesticated yak can be used as an additional source of stem cells. This biological material is suitable for isolating stem cells three days after the slaughter of the animal, which opens up prospects for the future.

Conclusion

The bone marrow of a domesticated yak can be used as an alternative producer of stem cells three days after the slaughter of the animal. The proliferation and viability indices of bone marrow stem cells obtained from post-mortem biomaterial of domesticated yak were in the range of 1.27–1.28 and 83%–92%, respectively. The results obtained may be of scientific and practical interest for practical veterinary and human medicine.

References

1. Jenchu B.Z., Silkin I.I., Dashko D.V., Tarasevich V.N. *Morfologiya tonkogo kishhechnika gibrida yaka (Bos Mutus) s cherno-pestroy golshhtinskoy korovoy* [Morphology of the Small Intestine of the Yak Hybrid (*Bos Mutus*) with the Black-And-White Holstein Cow]. *Vestnik IrGSHA* [Vestnik IrGSHA], 2021, vol. 103, pp. 112-124.

2. Salina A.D., Silkin I.I. Primeneniye elektrostimulyatsii dlya povysheniya oplodotvoryayushchey sposobnosti spermy bykov pri dlitel'nom khraneni [Application of electrical stimulation to increase the fertilizing ability of sperm in bulls during long-term storage]. *Aktual'nyye problemy veterinarnoy nauki i praktiki: Materialy Vserossiyskoy (Natsional'noy) nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Current problems of veterinary science and practice: Proceedings of the All-Russian (National) Scientific-Practical Conference], Omsk, March 22–26, 2021. Omsk: Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin, 2021, pp. 178-180.
3. Kharyanova A.S., Dashko D.V. K voprosu ispol'zovaniya posmertnogo biomateriala krupnogo rogatogo skota dlya polucheniya stvolovykh kletok [On the issue of using post-mortal biomaterial of cattle to produce stem cells]. *Klimat, ekologiya, sel'skoye khozyaystvo Yevrazii: Materialy X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Climate, Ecology, Agriculture of Eurasia: Proceedings of the X International Scientific-Practical Conference], Molodezhny, May 27–28, 2021. Molodezhny: Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, 2021, pp. 120-121.
4. Adams M. K., Goodrich L. R., Rao S., Olea-Popelka F., Phillips N., Kisiday J. D., McIlwraith C. W. Equine bone marrow-derived mesenchymal stromal cells (BDMSCs) from the ilium and sternum: Are there differences? *Equine Veterinary Journal*, 2013, vol. 45, no. 3, pp. 372-375. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2012.00646.x>
5. Arutyunyan I., Fatkhudinov T., Sukhikh G. Umbilical cord tissue cryopreservation: A short review. *Stem Cell Research & Therapy*, 2018, vol. 9, no. 1, pp. 236. URL: <https://stemcellres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13287-018-0992-0>
6. Barberini D. J., Freitas N. P. P., Magnoni M. S., Maia L., Listoni A. J., Heckler M. C., Sudano M. J., Golim M. A., da Landim-Alvarenga F. C., Amorim R. M. Equine mesenchymal stem cells from bone marrow, adipose tissue and umbilical cord: Immunophenotypic characterization and differentiation potential. *Stem Cell Research & Therapy*, 2014, vol. 5, no. 1, pp. 25. URL: <https://stemcellres.biomedcentral.com/articles/10.1186/scrt414>
7. Blazar B. R., Lasky L. C., Perentesis J. P., Watson K. V., Steinberg S. E., Filipovich A. H., Orr H. T., Ramsay N. K. Successful donor cell engraftment in a recipient of bone marrow from a cadaveric donor. *Blood*, 1986, vol. 67, no. 6, pp. 1655-1660. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3518833/>
8. Brignier A. C., Gewirtz A. M. Embryonic and adult stem cell therapy. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 2010, vol. 125, no. 2, pp. 336-344. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2009.09.032>

9. Chagastelles P. C., Nardi N. B. Biology of stem cells: An overview. *Kidney International Supplements*, 2011, vol. 1, no. 3, pp. 63-67. <https://doi.org/10.1038/kisup.2011.15>
10. Dashko D., Tarasevich V., Melnik O. Experimental and clinical justification of male orchidectomy under local anesthesia in combination with xylazine and subanesthetic doses of zoletil. *E3S Web of Conferences*, 2020, vol. 222, e2027. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022202027>
11. Delling U., Lindner K., Ribitsch I., Jülke H., Brehm W. Comparison of bone marrow aspiration at the sternum and tuber coxae in middle-aged horses. *Canadian Journal of Veterinary Research*, 2012, vol. 76, no. 1, pp. 52-56. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22754095/>
12. Gholamrezanezhad A. *Stem cells in clinic and research*. London, Intech Open, 2011, 816 p. URL: <https://www.intechopen.com/books/216>
13. Kapelushnik J., Aker M., Pugatsch T., Samuel S., Slavin S. Bone marrow transplantation from a cadaveric donor. *Bone Marrow Transplantation*, 1998, vol. 21, pp. 857-858. URL: <https://www.nature.com/articles/1701165>
14. Kasashima Y., Ueno T., Tomita A., Goodship A. E., R. Smith K. W. Optimisation of bone marrow aspiration from the equine sternum for the safe recovery of mesenchymal stem cells. *Equine Veterinary Journal*, 2011, vol. 43, no. 3, pp. 288-294. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2010.00215.x>
15. Kurtzberg J. A history of cord blood banking and transplantation. *Stem Cells Translational Medicine*, 2017, vol. 6, no. 5, pp. 1309-1311. <https://doi.org/10.1002/sctm.17-0075>
16. Latil M, Rocheteau P, Châtre L, Sanulli S., Mémet S., Ricchetti M., Tajbakhsh S., Chrétien F. Skeletal muscle stem cells adopt a dormant cell state postmortem and retain regenerative capacity. *Nature Communications*, 2012, vol. 12, no. 3, pp. 903. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22692546/>
17. Presnell S. C., Petersen B., Heidaran M. A. Stem cells in adult tissue. *Developmental Biology*, 2002, vol. 13, pp. 69-376. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Stem-cells-in-adult-tissues.-Presnell-Petersen/b8ea85d8323bbd7fd5c7d6ab1c9896975473f4cd>
18. Reimann V., Creutzig U., Kögler G. Stem cells derived from cord blood in transplantation and regenerative medicine. *Dtsch Arztebl Int*, 2009, vol. 106, no. 50, pp. 831-836. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20049094/>
19. Shu Zh., Gao D., Lee L. Q. Update on cryopreservation of adipose tissue and adipose-derived stem cells. *Clinics in Plastic Surgery*, 2015, vol. 42, no. 2, pp. 209-218. <https://doi.org/10.1016/j.cps.2014.12.001>
20. Silkin I.I., Popov A., Dashko D.V. *Prospects for using post-mortal genetic materials on the example of sable to ensure the biodiversity in natural systems*, 2019.

21. Silkin I.I., Batomunkuev A.S., Dashko D.V., Tarasevich V. N. Electron-microscopic study of enterocytes of intestinal crypts of the small intestine of a hybrid of a yak (BOS MUTUS) with a cow of a black-and-white Holstein breed. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Mechanization, Engineering, Technology, Innovation and Digital Technologies in Agriculture Ser. 3. IOP PUBLISHING LTD*, 2021, vol. 723, e032084. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032084>
22. Vieira N.M., Brandalise V., Zucconi E., Secco M., Strauss B.E., Zatz M. Isolation, characterization and differentiation potential of canine adipose-derived stem cells. *Cell Transplantation*, 2010, vol. 19, pp. 279-289. <https://doi.org/10.3727/096368909X481764>

Список литературы

1. Морфология тонкого отдела кишечника гибрида яка (bosmutus) с коровой черно-пестрой голштинизированной породы / Енчу В.З., Силкин И.И., Дашко Д.В., Тарасевич В.Н. // Вестник ИрГСХА. 2021. Т. 103. С. 112-124.
2. Салина А.Д., Силкин И.И. Использование электростимуляции для повышения оплодотворяющей способности спермиев у быков при длительном хранении // Актуальные проблемы ветеринарной науки и практики: Сборник материалов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Омск, 22–26 марта 2021 года. Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2021. С. 178-180.
3. Харьянова А.С., Дашко Д.В. К вопросу использования постмортального биоматериала крупного рогатого скота для получения стволовых клеток // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии : Материалы X международной научно-практической конференции, Молодежный, 27–28 мая 2021 года. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2021. С. 120-121.
4. Adams M. K., Goodrich L. R., Rao S., Olea-Popelka F., Phillips N., Kisiday J. D., McIlwraith C. W. Equine bone marrow-derived mesenchymal stromal cells (BMDMSCs) from the ilium and sternum: Are there differences? // *Equine Veterinary Journal*, 2013, vol. 45, no. 3, pp. 372-375. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2012.00646.x>
5. Arutyunyan I., Fatkhudinov T., Sukhikh G. Umbilical cord tissue cryopreservation: A short review // *Stem Cell Research & Therapy*, 2018, vol. 9, no. 1, pp. 236. URL: <https://stemcellres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13287-018-0992-0>
6. Barberini D. J., Freitas N. P. P., Magnoni M. S., Maia L., Listoni A. J., Heckler M. C., Sudano M. J., Golim M. A., da Landim-Alvarenga F. C., Amorim R. M.

- Equine mesenchymal stem cells from bone marrow, adipose tissue and umbilical cord: Immunophenotypic characterization and differentiation potential // *Stem Cell Research & Therapy*, 2014, vol. 5, no. 1, pp. 25. URL: <https://stemcellres.biomedcentral.com/articles/10.1186/scrt414>
7. Blazar B. R., Lasky L. C., Perentesis J. P., Watson K. V., Steinberg S. E., Filipovich A. H., Orr H. T., Ramsay N. K. Successful donor cell engraftment in a recipient of bone marrow from a cadaveric donor // *Blood*, 1986, vol. 67, no. 6, pp. 1655-1660. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3518833/>
 8. Brignier A. C., Gewirtz A. M. Embryonic and adult stem cell therapy // *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 2010, vol. 125, no. 2, pp. 336-344. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2009.09.032>
 9. Chagastelles P. C., Nardi N. B. Biology of stem cells: An overview // *Kidney International Supplements*, 2011, vol. 1, no. 3, pp. 63-67. <https://doi.org/10.1038/kisup.2011.15>
 10. Dashko D., Tarasevich V., Melnik O. Experimental and clinical justification of male orchidectomy under local anesthesia in combination with xylazine and subanesthetic doses of zoletil // *E3S Web of Conferences*, 2020, vol. 222, e2027. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022202027>
 11. Dellling U., Lindner K., Ribitsch I., Jülke H., Brehm W. Comparison of bone marrow aspiration at the sternum and tuber coxae in middle-aged horses // *Canadian Journal of Veterinary Research*, 2012, vol. 76, no. 1, pp. 52-56. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22754095/>
 12. Gholamrezaezhad A. Stem cells in clinic and research. London, Intech Open, 2011, 816 p. URL: <https://www.intechopen.com/books/216>
 13. Kapelushnik J., Aker M., Pugatsch T., Samuel S., Slavin S. Bone marrow transplantation from a cadaveric donor // *Bone Marrow Transplantation*, 1998, vol. 21, pp. 857-858. URL: <https://www.nature.com/articles/1701165>
 14. Kasashima Y., Ueno T., Tomita A., Goodship A. E., R. Smith K. W. Optimisation of bone marrow aspiration from the equine sternum for the safe recovery of mesenchymal stem cells // *Equine Veterinary Journal*, 2011, vol. 43, no. 3, pp. 288-294. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2010.00215.x>
 15. Kurtzberg J. A history of cord blood banking and transplantation // *Stem Cells Translational Medicine*, 2017, vol. 6, no. 5, pp. 1309-1311. <https://doi.org/10.1002/sctm.17-0075>
 16. Latil M, Rocheteau P, Châtre L, Sanulli S., Mémet S., Ricchetti M., Tajbakhsh S., Chrétien F. Skeletal muscle stem cells adopt a dormant cell state postmortem and retain regenerative capacity // *Nature Communications*, 2012, vol. 12, no. 3, pp. 903. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22692546/>

17. Presnell S. C., Petersen B., Heidaran M. A. Stem cells in adult tissue // *Developmental Biology*, 2002, vol. 13, pp. 69-376. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Stem-cells-in-adult-tissues.-Presnell-Petersen/b8ea85d8323bbd7fd5c7d6ab1c9896975473f4cd>
18. Reimann V., Creutzig U., Kögler G. Stem cells derived from cord blood in transplantation and regenerative medicine // *Dtsch Arztebl Int*, 2009, vol. 106, no. 50, pp. 831-836. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20049094/>
19. Shu Zh., Gao D., Lee L. Q. Update on cryopreservation of adipose tissue and adipose-derived stem cells // *Clinics in Plastic Surgery*, 2015, vol. 42, no. 2, pp. 209-218. <https://doi.org/10.1016/j.cps.2014.12.001>
20. Silkin I.I., Popov A., Dashko D.V. Prospects for using post-mortal genetic materials on the example of sable to ensure the biodiversity in natural systems, 2019.
21. Silkin I.I., Batomunkuev A.S., Dashko D.V., Tarasevich V. N. Electron-microscopic study of enterocytes of intestinal crypts of the small intestine of a hybrid of a yak (BOS MUTUS) with a cow of a black-and-white Holstein breed // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Mechanization, Engineering, Technology, Innovation and Digital Technologies in Agriculture Ser. 3. IOP PUBLISHING LTD*, 2021, vol. 723, e032084. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032084>
22. Vieira N. M., Brandalise V., Zucconi E., Secco M., Strauss B. E., Zatz M. Isolation, characterization and differentiation potential of canine adipose-derived stem cells // *Cell Transplantation*, 2010, vol. 19, pp. 279-289. <https://doi.org/10.3727/096368909X481764>

DATA ABOUT THE AUTHORS

Denis V. Dashko

*Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny village, Irkutsk district, Irkutsk, 664038, Russian Federation
den120577@bk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5703-7301>*

Ivan I. Silkin

*Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny village, Irkutsk district, Irkutsk, 664038, Russian Federation
ivsi@list.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4023-013X>*

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Дашко Денис В.

*Иркутский государственный аграрный университет им.
А.А.Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он. г. Иркутск, 664038, Российская
Федерация
den120577@bk.ru*

Силкин Иван И.

*Иркутский государственный аграрный университет им.
А.А.Ежевского
п. Молодёжный, Иркутский р-он. г. Иркутск, 664038, Российская
Федерация
ivsi@list.ru*

Поступила 10.04.2022

После рецензирования 29.04.2022

Принята 18.05.2022

Received 10.04.2022

Revised 29.04.2022

Accepted 18.05.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-24-40

УДК 595.772:638.4:591.61



Научная статья | Насекомые

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ НАСЕКОМОГО ВИДА HERMETIA ILLUCENS (ЧЕРНАЯ ЛЬВИНКА)

*Г.В. Песцов, А.В. Третьякова,
О.В. Прокудина, С.А. Бутенко*

Обоснование. Проблема утилизации отходов сельского хозяйства в настоящее время является очень актуальной. В Российской Федерации агропромышленный комплекс ежегодно производит сотни миллионов тонн отходов, которые необходимо утилизировать и рационально использовать. Органические отходы сельскохозяйственного производства и навоз сельскохозяйственных животных можно эффективно утилизировать при помощи направленной микробиологической ферментации и личинок насекомого *Hermetia illucens* (черная львинка).

В результате деятельности ферментной системы личинок черной львинки и специфической микрофлоры отходы сельского хозяйства превращаются в зоогуmus с повышенным содержанием азота, фосфора, калия и микроэлементов, который можно использовать в качестве органического удобрения, улучшающего качество почвы, а биомассу личинок на корм животным и для получения белкового концентрата и жира.

Цель. Определить оптимальные температурные условия для культивирования насекомого вида *Hermetia illucens* (черная львинка) на различных видах субстратов, изучить влияние состава субстрата на получение биомассы личинок, белкового концентрата и жира.

Материалы и методы. Научно-исследовательская работа проводилась в микробиологической лаборатории Центра технологического превосходства «Передовые химические и биотехнологии», лабораториях кафедры биологии и технологий живых систем, факультета естественных наук Тульского государственного педагогического университета им. Л. Н. Толстого и инсектарии ООО «Львинка».

Для изучения влияния состава корма на рост и развитие личинок насекомого вида *Hermetia illucens* применяли субстраты из различных сельскохозяйственных, пищевых и животноводческих отходов. Для определения влияния температуры на развитие личинок использовали термостаты и помещения инсектария.

Результаты. Изучение влияния различных твёрдых органических отходов, при использовании их в качестве корма, на биомассу живых и высушенных личинок насекомого *H. illucens* показало, что личинки лучше росли и развивались на пищевых отходах, состоящих из мясных и рыбных компонентов, а также пищевых растительных отходов. Хуже развивались личинки на растительных остатках.

Это связано с тем, что растительные отходы содержат в своём составе большое количество целлюлозы и гораздо меньшее питательных веществ, поэтому на субстрате такого состава личинки хуже набирали биомассу.

Оптимальной температурой для культивирования личинок насекомого вида *H. illucens* является $t=22^{\circ}\text{C}$. Соотношение белка и жира в личинках насекомого *H. illucens* зависит от состава корма.

В тех типах кормов, где преобладает белок, содержание этого компонента в личинках было высокое. Например, при использовании пищевых мясных отходов содержание белкового концентрата достигает 595 г/кг, жира только 323 г/кг, а при использовании растительных отходов, содержащих большое количество углеводов, нарабатывается больше жира и меньше белка.

Заключение. В результате проведенной научно-исследовательской работы удалось изучить влияние факторов окружающей среды на рост и развитие насекомого вида *Hermetia illucens* (черная львинка), и подобрать благоприятные условия для наработки биомассы личинок. Были подобраны субстраты для культивирования личинок насекомого вида *H. illucens*, определены наиболее подходящие субстраты для наработки белкового концентрата и жира.

Ключевые слова: *Hermetia illucens*; черная львинка; субстраты; утилизация отходов

Для цитирования. Песцов Г.В., Третьякова А.В., Прокудина О.В., Бутенко С.А. Изучение влияния факторов окружающей среды на рост и развитие насекомого вида *Hermetia illucens* (черная львинка) // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №2. С. 24-40. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-24-40

Original article | Insects

STUDY OF THE INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF THE INSECT SPECIES *HERMETIA ILLUCENS* (BLACK SOLDIER FLY)

*G.V. Pestsov, A.V. Tretyakova,
O.V. Prokudina, S.A. Butenko*

Background. *The problem of agricultural waste disposal is currently very relevant. In the Russian Federation, the agro-industrial complex annually produces hundreds of millions of tons of waste that must be disposed of and used rationally. Organic waste from agricultural production and farm animal manure can be effectively disposed of using directed microbiological fermentation and larvae of the insect *Hermetia illucens* (black soldier fly). As a result of the activity of the enzyme system of black lion larvae and specific microflora, agricultural waste turns into zoohumus with a high content of nitrogen, phosphorus, potassium and trace elements, which can be used as an organic fertilizer that improves the quality of the soil, and the biomass of larvae for animal feed and for obtaining protein concentrate and fat.*

Purpose. *To determine the optimal temperature conditions for the cultivation of the insect species *Hermetia illucens* (black soldier fly) on various types of substrates, to study the effect of the substrate composition on the production of larval biomass, protein concentrate and fat.*

Materials and Methods. *The research work was carried out in the microbiological laboratory of the Center for Technological Excellence “Advanced Chemical and Biotechnology”, laboratories of the Department of Biology and Technologies of Living Systems, Faculty of Natural Sciences of the Tula State Pedagogical University named after L. N. Tolstoy and insectaria LLC “Lvinka”.*

*To study the effect of the feed composition on the growth and development of the larvae of the insect species *Hermetia illucens*, substrates from various agricultural, food and animal waste were used. To determine the influence of temperature and humidity on the development of larvae, thermostats and insectarium rooms were used.*

Results. *The study of the effect of various solid organic waste on the biomass of live and dried larvae showed that the larvae of the insect *H. illucens* grew and developed better on food waste consisting of meat and fish waste, as well as plant*

food waste. Larvae developed worse on plant residues. This is due to the fact that these wastes contain a large amount of cellulose and much less nutrients in their composition, therefore, on a substrate of this composition, the larvae gained biomass worse. The optimal temperature for the cultivation of insect larvae of the species *H. illucens* is $t-22^{\circ}\text{C}$. The ratio of protein and fat in the larvae of the insect *H. illucens* depends on the composition of the feed. In those types of feed where protein predominates, the content of this component in the larvae is high. For example, when using food meat waste, the content of protein concentrate reaches 595 g/kg, fat only 323 g/kg, and when using vegetable waste containing a large amount of carbohydrates, more fat and less protein are produced.

Conclusions. As a result of the research work carried out, it was possible to study the influence of environmental factors on the growth and development of the insect species *H. illucens* (black soldier fly), and to select favorable conditions for the development of larval biomass. Optimal substrates were selected for the cultivation of larvae of the insect species *H. illucens*. The most suitable substrates for the production of protein concentrate and fat were also determined.

Keywords: *Hermetia illucens*; black soldier fly; substrates; waste disposal

For citation. Pestsov G.V., Tretyakova A.V., O Prokudina.V., Butenko S.A. Study of the Influence of Environmental Factors on the Growth and Development of the Insect Species *Hermetia illucens* (Black Soldier Fly). *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 24-40. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-24-40

Одной из актуальных современных проблем является утилизация различных органических отходов, особенно сельского хозяйства. Указом Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. N 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» поставлена задача эффективного обращения с отходами производства и потребления [4]. Проблема утилизации отходов сельского хозяйства в настоящее время является очень актуальной. В Российской Федерации агропромышленный комплекс ежегодно производит сотни миллионов тонн отходов, которые необходимо утилизировать и рационально использовать. Это возможно осуществить только с применением современных биотехнологий, часто связанных с разведением и использованием разных живых организмов, способных быстро подвергать биодеструкции органические отходы и оказывать положительное влияние на экологическую обстановку [1, 13]. Органические отходы сельскохозяйственного производства и навоз сельскохозяйственных животных

можно эффективно утилизировать при помощи направленной микробиологической ферментации и личинок насекомого *Hermetia illucens* (черная львинка) [12, 18]. В результате деятельности ферментной системы личинок черной львинки и специфической микрофлоры отходы сельского хозяйства превращаются в зоогумус с повышенным содержанием азота, фосфора, калия и микроэлементов, который можно применять в качестве органического удобрения, а биомассу личинок использовать на корм животным, а также для получения белка и жира [3, 5, 6].

Вид мухи *Hermetia illucens* обитает в странах с теплым климатом. Насекомое относится к числу немногих видов беспозвоночных, способных круглогодично развиваться в искусственных условиях, что позволяет использовать его в биотехнологических целях в любых регионах [3]. Большой интерес к культивированию черной львинки обусловлен высокоэффективной биоконверсией личинками этой мухи различных твердых органических отходов и их высокой питательной ценностью, личинки являются идеальным кормом для сельскохозяйственных животных и аквакультуры [16, 19]. Процентное содержание различных веществ в личинках насекомого *Hermetia illucens* зависит от качества корма и может варьировать, но обычно они содержат около 40% белка, 30% жира, хитина 5-7%, обогащены кальцием, фосфором [5]. К числу важных соединений относятся: сырой протеин (42%); липиды (35%); сырая клетчатка (7%); свободный экстракт азота (1,4%); зола (14,6%); кальций (5,0%); фосфор (1,5%), железо (1,0%) [7, 14, 20]. Биомасса личинок используется не только для получения белка, из них также выделяют меланин-хитозановые комплексы для создания антибактериальных препаратов [2, 11]. Именно белок, а точнее белковый концентрат, используется в качестве добавки к кормам домашних и сельскохозяйственных животных. Белковый концентрат состоит из сырого протеина (55%), сырого жира (10%), сырой золы (9%), хитина (8%), кислотное число, мг КОН/кг составляет не более 10, перекисное число, %J не более 0,1 [8, 15]. Аминокислотный состав характеризуется достаточно широкой представленностью: аланин - 4,11%, аргинин - 2,84%, аспарагиновая кислота - 5,56%, валин - 2,84%, гистидин - 2,00%, глицин - 3,31%, глутаминовая кислота - 6,98%, изолейцин - 2,11%, лейцин - 3,85%, лизин - 3,51%, метионин - 1,01%, пролин - 4,08%, серин - 2,55%, тирозин - 3,61%, треонин - 2,52%, триптофан - 0,66%, фенилаланил - 2,28%, цистин - 1,07% [8, 10].

В производстве белкового концентрата для кормов жир личинок является побочным продуктом и, практически, не используется, но исследования последних лет показали, что этот жир имеет близкий к кокосовому

маслу состав, а кокосовое масло активно применяют в косметике, поэтому жир насекомого *Hermetia illucens* может стать важным компонентом для производства косметической продукции. Этот жир получают путем отжима и экстракции из биомассы личинок, он обладает слабовыраженным запахом и цветом (от белого до коричневого), температура плавления около 40°C. Жирнокислотный состав: лауриновая кислота (46,7%), олеиновая кислота (16%), линолевая кислота (11,2%), пальмитиновая кислота (10,6%), миристиновая кислота (7,8%), пальмитолеиновая кислота (2,2%), стеариновая кислота (1,8%), линоленовая кислота (1,6%), каприновая кислота (1,1%), миристолеиновая кислота (0,2%), пентадекановая кислота (0,1%). Соотношение жирных кислот составляет: насыщенные жирные кислоты (68,3%), мононенасыщенные жирные кислоты (18,9%), полиненасыщенные жирные кислоты (12,8%), омега-3 (1,6%), омега-6, (11,2%), омега-9 (16,4%) [10, 17].

Цель работы

Определить оптимальные температурные условия для культивирования насекомого вида *Hermetia illucens* (черная львинка) на различных видах субстратов, изучить влияние состава субстрата на получение биомассы личинок, белкового концентрата и жира.

Научная новизна

Научная новизна, разрабатываемого проекта, заключается в изучении влияния различных факторов (температура, состав органического субстрата) на культивирование личинок насекомого *Hermetia illucens* (черная львинка), получение биомассы личинок, белкового концентрата и жира.

Материалы и методы исследования

Научно-исследовательская работа проводилась в микробиологической лаборатории Центра технологического превосходства «Передовые химические и биотехнологии», лабораториях кафедры биологии и технологий живых систем, факультета естественных наук Тульского государственного педагогического университета им. Л. Н. Толстого и инсектарии ООО «Львинка».

Для изучения влияния температуры и состава субстрата на рост и развитие личинок насекомого вида *Hermetia illucens* использовали термостаты (ТС-1/80 СПУ) и помещения инсектария, где поддерживали температуру 18-26°C и влажность воздуха в 65-75%. Опыты закладывали в 8-ми кратной повторности.

Для постановки опыта личинок в количестве 300 шт. особей помещали в стандартные пластиковые контейнеры (15x10x6,5 см) и одинаковые условия при температуре 22°C; учет массы личинок проводили на 9-е и 12-е сутки. Из каждого ящика брали по 100 шт. личинок, их поверхностно промывали, подсушивали и взвешивали каждую пробу. Затем высушивали личинки в сушильном шкафу при 100°C и взвешивали еще раз. В качестве растительных сельскохозяйственных отходов использовали измельченную ботву томатов, ботву огурцов, ботву картофеля и солому зерновых культур. В качестве пищевых отходов использовали хлебные отходы, очистки и некондиционные фрукты и овощи, а также мясные и рыбные отходы, а в качестве отходов животноводства использовали ферментированный навоз крупного рогатого скота. В качестве контроля использовали комбикорм для кормления кур.

В опыте по изучению влияния температуры личинок выращивали на различных субстратах в пластиковых контейнерах площадью 50 см² по 100 шт. в каждом, взвешивание проводили на 12-е сутки.

В опыте по изучению влияния состава корма на содержание в личинках белкового концентрата и жира использовали сушильный шкаф (ШС-80-01 СПУ) и маслопресс (Ravmid modern RMO-03). Личинок сушили и помещали в маслопресс по 100 г в каждой пробе, маслопресс разделял биомассу на белковый концентрат и жир, которые взвешивали, а данные статистически обрабатывали.

Результаты исследования и их обсуждение

В большинстве случаев в биотехнологии утилизации органических отходов используются дикие популяции мух вида *Hermetia illucens* (черная львинка), не адаптированные к определенным видам субстратов и внешним условиям окружающей среды. Основу питания личинок черной львинки обычно составляют плодово-овощные, зерновые и пищевые отходы, а также навоз сельскохозяйственных животных. Как правило, они отличаются от кормов, доступных мухам в естественных условиях. Поэтому практически отсутствуют линии мух адаптированные к конкретным условиям и субстратам, которые можно было бы использовать для проведения экспериментов в качестве контрольной группы в научно-исследовательской работе по усовершенствованию и стабилизации популяции по заданным критериям, таким, как размер личинок, скорость развития и адаптация их к конкретным видам органических отходов.

Изучение влияния различных твёрдых органических отходов на биомассу живых и высушенных личинок при культивировании их в контролируе-

мых условиях показало, что при кормлении личинок насекомого *H. illucens* лучше всего росли личинки на субстратах, состоящих из мясных и рыбных пищевых отходов и пищевых растительных отходов с добавлением некондиционных фруктов и овощей (табл. 1).

Таблица 1.

Учет массы живых и высушенных личинок, выращенных на различных органических отходах, (масса 100 шт. личинок в г)

№	Вариант корма	На 9 сутки		На 12 сутки		% к контролю	
		Живые	Сухие	Живые	Сухие	Живые	Сухие
1	Комбикорм (контроль)	23,4 ± 1,85	7,8 ± 0,36	26,3 ± 1,48	10,6 ± 0,40	100	100
2	Пищевые отходы (мясные)	25,1±2,01	9,0± 0,66	29,2 ± 1,74	12,1 ± 1,18	110,9	110,9
3	Растительные отходы	19,6 ± 1,66	7,1± 0,41	22,3 ± 0,57	8,6 ± 0,69	84,8	81,3
4	Пищевые отходы (растительные)	24,4 ± 2,28	8,9 ± 0,40	28,2 ± 2,59	11,8 ± 0,50	107,5	113,7
5	Отходы животноводства	20,2 ± 0,90	7,5 ± 0,58	24,2 ± 0,89	9,6 ± 0,54	91,9	90,7

Максимальная масса живых личинок на субстрате с использованием пищевых отходов животного происхождения достигала 29,2 г на 100 шт. личинок, а максимальная масса высушенных личинок – 12,1 г. Это связано с тем, что мясные пищевые отходы содержат большое количество белка. Использование пищевых отходов растительного происхождения с добавлением некондиционных фруктов и овощей показало также хорошие результаты, чему способствовало сбалансированное количество углеводов, крахмала и витаминов, поэтому личинки быстро росли и набирали биомассу. Средний вес живых личинок на 12 сутки был 28,2 г, а высушенных – 11,8 г, что превышало показатели в контрольном варианте, который обычно рекомендуют для кормления маточной популяции личинок, на 7,5% и 13,7% соответственно. Менее интенсивно развивались личинки на субстрате из растительных остатков, средняя масса живых личинок была 22,3 г, а сухеных 8,6 г. Это связано с тем, что данные отходы содержат в своём составе большое количество целлюлозы и гораздо меньшее количество углеводов и белка, поэтому на субстрате такого состава личинки хуже набирали биомассу.

В ходе выполнения исследовательской работы удалось определить, что личинки насекомого *H. illucens* можно использовать для утилизации различных твёрдых органических отходов. Они обладают широким диапазоном пищевых предпочтений, способны развиваться как на богатых белком и углеводами, так и на бедных субстратах. Применение одинаковых субстратов для кормления личинок в течение нескольких поколений будет способствовать появлению линий, адаптированных к данному корму.

Одним из важных факторов, влияющих на рост и развитие личинок насекомого *H. illucens*, кроме состава корма, является температура. Личинки черной львинки могут жить в широком диапазоне температур. Оптимальная температура культивирования во многом зависит от плотности их популяции, так как при высокой плотности, необходимой для эффективной переработки органики, происходит быстрый разогрев субстратов и личинки пытаются расползаться. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Выращивание личинок черной львинки на разных субстратах при различных температурах (масса 100 шт. личинок в г)

№	Вариант корма	t – 18°C		t – 22°C		t – 26°C	
		Живые	Сухие	Живые	Сухие	Живые	Сухие
1	Комбикорм (контроль)	25,5 ± 2,06	6,9 ± 0,58	27,3 ± 1,5	8,0 ± 0,71	27,1 ± 1,48	8,1 ± 0,53
2	Пищевые отходы (мясные)	28,2 ± 2,27	9,45 ± 0,77	30,1 ± 1,87	10,3 ± 0,99	28,7 ± 1,85	10,1 ± 0,77
3	Растительные отходы	21,6 ± 1,99	5,1 ± 0,35	24,0 ± 1,71	7,1 ± 0,53	23,2 ± 1,28	6,7 ± 0,42
4	Пищевые отходы (растительные)	27,2 ± 1,28	8,5 ± 0,57	29,3 ± 2,25	10,3 ± 0,82	28,9 ± 2,06	9,4 ± 0,77
5	Отходы животноводства	23,9 ± 1,83	6,1 ± 0,47	26,1 ± 2,19	7,7 ± 0,65	28,2 ± 1,37	7,3 ± 1,62

Анализ данных таблицы показал, что оптимальной температурой для культивирования личинок насекомого вида *H. illucens* является t-22°C. При температуре 18°C личинки развивались несколько медленнее и были распределены неравномерно в контейнере, а при t-26°C были активны, но стремились уползти из контейнера, а не нарабатывать биомассу. Наилучшим кормом являются пищевые мясные отходы, биомасса личинок в этом варианте со-

ставляла 30,1 г на 100 живых личинок и 10,3 г на 100 сушеных личинок. Несколько ниже были показатели при кормлении личинок хлебными пищевыми отходами с добавлением некондиционных овощей и фруктов, живые личинки весили 29,3 г, а сушеные 10,3 г. Самые низкие показатели по массе личинок были при использовании растительного корма, живые личинки весили 24,0 г, а сушеные 7,1 г. Такая закономерность обусловлена питательной ценностью корма. Подтверждена возможность культивирования личинок черной львинки на ферментированном навозе крупного рогатого скота.

Для наработки белка и жира из насекомого вида *H. illucens* использовали личинок, выращенных на различных субстратах с целью выяснения какие субстраты можно использовать для получения преимущественно белкового концентрата, а какие для получения жира. Белковый концентрат личинок черной львинки используют в качестве добавки в корма сельскохозяйственным животным и для поддержания аквакультуры, а жир для производства моющих и косметических средств. В таблице 3 представлены данные по содержанию белка и жира в пересчете на 100 г сушеных личинок.

Таблица 3.

Изучение влияния состава корма на содержание белкового концентрата и жира в личинках черной львинки (на 100 г сушеных личинок)

№	Вариант корма	Количество белкового концентрата, г	Количество жира, г
1	Комбикорм (контроль)	54,6 ± 2,83	36,9 ± 4,12
2	Пищевые отходы (мясные)	59,5 ± 4,86	32,3 ± 2,55
3	Растительные отходы	33,9 ± 2,12	57,0 ± 3,43
4	Пищевые отходы (хлебные)	42,3 ± 3,36	48,5 ± 3,14
5	Отходы животноводства	54,1 ± 4,77	32,1 ± 2,08

Как показали результаты соотношение белкового концентрата и жира в личинках зависит от состава корма. В тех типах кормов, где преобладает белок, содержание этого компонента в составе личинок было высоким. Например, при использовании пищевых мясных отходов содержание белкового концентрата было 59,5 г, а жира только 32,3 г, остальную массу составлял хитин. Растительные отходы, используемые для кормления личинок, содержали в своем составе большое количество углеводов и были основой для наработки жира. Например, при использовании в качестве корма пищевых (хлебных) отходов белка было 42,3 г, а жира 48,5 г. Это связано с тем, что хлебные отходы содержат наряду с растительным белком большое количество углеводов. Растительные отходы сами по себе

также богаты углеводами, поэтому, используя их в качестве корма можно получать больше жира (57,0 г) и меньше белкового концентрата (33,9 г). Интересен факт, показывающий, что отходы животноводства на основе навоза крупного рогатого скота, подвергнутые направленной микробиологической ферментации и используемые в качестве корма для личинок черной львинки, способны превращаться преимущественно в белок (54,1 г), жира в этом случае получается значительно меньше (32,1 г), эти показатели сопоставимы с содержанием в личинках белка и жира при кормлении их комбикормом. Комбикорм для кормления кур является практически идеальным субстратом для выращивания маточной популяции личинок насекомого *H. illucens*, но он имеет определенную цену по сравнению с органическими отходами, которые необходимо утилизировать.

Заключение

Изучение влияния различных твердых органических отходов на биомассу живых и высушенных личинок показало, что личинки насекомого *H. illucens* лучше росли и развивались на субстрате, состоящем из мясных и рыбных пищевых отходов. Максимальная масса живых личинок на таком субстрате достигала 29,2 г, а максимальная масса высушенных личинок – 12,1 г. на 100 шт. личинок. Это связано с тем, что мясные пищевые отходы содержат большое количество белка. Использование хлебных пищевых отходов с добавлением некондиционных фруктов и овощей также показало хорошие результаты, чему способствовало сбалансированное количество углеводов, крахмала и витаминов, поэтому личинки росли быстро и набирали биомассу. Средний вес живых личинок на 12 сутки был 28,2 г, а высушенных - 11,8 г, что превышало показатели в контрольном варианте, который обычно рекомендуют для кормления маточной популяции личинок. Менее интенсивно развивались личинки на субстрате из растительных остатков, средняя масса живых личинок была 22,3 г, а сухих 8,6 г. Это связано с тем, что данные отходы содержат в своём составе большое количество целлюлозы и гораздо меньшее количество углеводов и белка, поэтому на субстрате такого состава личинки хуже набирали биомассу.

Оптимальной температурой для культивирования личинок насекомого вида *H. illucens* является $t=22^{\circ}\text{C}$. При температуре 18°C личинки развиваются медленнее и распределены неравномерно в контейнере, а при $t=26^{\circ}\text{C}$ личинки активны, но меньше едят и стремятся уползти из контейнера.

Соотношение белка и жира в личинках насекомого *H. illucens* зависит от состава корма. В тех типах кормов, где преобладает белок, содержание его в личинках было более высокое. Например, при использовании пи-

щевых мясных отходов содержание белкового концентрата было 59,5 г, а жира только 32,3 г, остальную массу составлял хитин. Отходы растительного происхождения более богаты углеводами, поэтому, используя их в качестве корма можно получать больше жира (57,0 г) и меньше белкового концентрата (33,9 г). Отходы животноводства на основе ферментированного навоза крупного рогатого скота превращаются в преимущественно в белок (54,1 г). Проведенное исследование показывает, что для утилизации органических отходов различного происхождения и состава целесообразно использовать личинок насекомого *Hermetia illucens*.

Исследование выполнено в рамках гранта правительства Тульской области в сфере науки и техники 2021 года «Биотехнологическая утилизация органических отходов при помощи личинок насекомого Hermetia illucens (черная львинка) и получение новых продуктов» по договору №ДС/263 от 25.10.2021 г.

Список литературы

1. Антонов А.М., Lutovinovas E., Иванов Г.А., Пастухова Н.О. Адаптация и перспективы разведения мухи Черная львинка (*Hermetia illucens*) в циркумпольном регионе // Принципы экологии. 2017. Т. 6, № 3. С. 4–19. <https://doi.org/10.15393/j1.art.2017.6302>
2. Бастратов А.И., Донцов А.Е., Ушакова Н.А. Муха черная львинка *Hermetia illucens* в условиях искусственного разведения – возобновляемый источник меланин-хитозанового комплекса // Известия уфимского научного центра РАН. 2016. № 4. С. 77–79.
3. Песцов Г.В., Сидоров Р.А., Глазунова А.В., Бутенко С.А. Биотехнологическая утилизация органических отходов с помощью насекомого *Hermetia illucens* (черная львинка)// Проблемы научной мысли. 2021. Т. 7, № 4. С. 23-25.
4. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. N 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43027>
5. Ушакова Н. А., Некрасов Р. В. Перспективы использования насекомых в кормлении сельскохозяйственных животных. Биотехнология: состояние и перспективы развития // Материалы VIII Московского международного конгресса ЗАО «Экспо-биохим-технологии», РХТУ им. Д. И. Менделеева. Москва, 17–20 марта 2015 г. М., 2015. С. 147–149.
6. Alvarez L. The Role of Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) in Sustainable Waste Management in Northern Climates, Electronic Theses and Dissertations. 2012, P. 402.

7. Barragan-Fonseca K., Pineda-Mejia J., Dicke, M., van Loon J.J.A. Performance of the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) on Vegetable Residue-Based Diets Formulated Based on Protein and Carbohydrate Contents // *J. Econ. Entomol.* 2018. <https://doi.org/10.1093/jee/toy270>
8. Dabbou S., Gai F., Biasato I., Capucchio M.T., Biasibetti E., Dezzutto D., Meneguz M., Placha I., Gasco L., Schiavone A. Black soldier fly defatted meal as a dietary protein source for broiler chickens: Effects on growth performance, blood traits, gut morphology and histological features // *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 2018. Vol. 13, N. 10. <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0266-9>
9. Diener S., Studt S.N., Roa G.F., Zurbrugg C., Tockner K. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier y larvae // *Waste Biomass Valorization.* 2011. Vol. 2, N. 4. P. 357–363. <https://doi.org/10.1007/s12649-011-9079-1>
10. Ewald N., Vidakovic A., Langeland M., Kiessling A., Sampels S., Lalander C. Fatty acid composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*)—Possibilities and limitations for modification through diet // *Waste Manag.* 2020. Vol. 102. P. 40–47. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.014>
11. Giannetto A., Oliva S., Cecon Lanes C.F., de Araujo Pedro F., Savastano D., Baviera C., Parrino V., Lopardo G., Spano N.C., Cappello T., et al. *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae and prepupae: Biomass production, fatty acid profile and expression of key genes involved in lipid metabolism // *J. Biotechnol.* 2020. Vol. 307. P. 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2019.10.015>
12. Kenis M., Kone N., Chrysostome C.A.A.M., Devic E., Koko G.K.D., Clotley V.A., Nacambo S., Mensah G.A. Insects used for animal feed in West Africa // *Entomologia.* 2014. Vol. 2. <https://doi.org/10.4081/entomologia.2014.218>
13. Khan S.H. Recent advances in role of insects as alternative protein source in poultry nutrition // *J. Appl. Anim. Res.* 2018. Vol. 46. P. 1144–1157. <https://doi.org/10.1080/09712119.2018.1474743>
14. Laureati M., Proserpio C., Jucker C., Savoldelli S. New sustainable protein sources: Consumers' willingness to adopt insects as feed and food // *Ital. J. FoodSci.* 2016. Vol. 28. P. 652–668.
15. Li Q., Zheng L., Cai H., Garza E., Yu Z., Zhou S. From organic waste to biodiesel: Black soldier fly, *Hermetia illucens*, makes it feasible // *Fuel.* 2011. Vol. 90. P. 1545–1548. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.11.016>
16. Liu C., Wang C., Yao H. Comprehensive Resource Utilization of Waste Using the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* L.) (Diptera: Stratiomyidae). *Animals.* 2019. Vol. 9. P. 349. <https://doi.org/10.3390/ani9060349>
17. Mai H.C., Dao N.D., Lam T.D., Nguyen B.V., Nguyen D.C., Bach L.G. Purification Process, Physicochemical Properties, and Fatty Acid Composition of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* Linnaeus) Larvae Oil // *J. Am. Oil Chem. Soc.* 2019. Vol. 96. P. 1303–1311. <https://doi.org/10.1002/aocs.12263>

18. Ruhnke I., Normant C., Campbell D.L.M., Iqbal Z., Lee C., Hinch G.N., Roberts J. Impact of on-range choice feeding with black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) on flock performance, egg quality, and range use of free-range laying hens // Anim. Nutr. 2018. Vol. 4. P. 452–460. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.03.005>
19. Schiavone A., Dabbou S., De Marco M., Cullere M., Biasato I., Biasibetti E., Capucchio M.T., Bergagna S., Dezzutto D., Meneguz M., et al. Black soldier fly larva fat inclusion in finisher broiler chicken diet as an alternative fat source // Animal. 2018. Vol. 12. P. 2032–2039. <https://doi.org/10.1017/S1751731117003743>
20. Schiavone A., De Marco M., Martinez, S., Dabbou S., Renna M., Madrid J., Hernandez F., Rotolo L., Costa P., Gai F., et al. Nutritional value of a partially defatted and a highly defatted black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) meal for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent metabolizable energy and apparent ileal amino acid digestibility // J. Anim. Sci. Biotechnol. 2017. Vol. 8. P. 1–9. <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0181-5>

References

1. Antonov A.M., Lutovinovs E., Ivanov G.A., Pastuhova N.O. *Adaptatsiya i perspektivy razvedeniya mukhi Chernaya l'vinka (Hermetia illucens) v tsirkumpolyarnom regione* [Adaptation and prospects of breeding of the Black soldier fly (*Hermetia illucens*) in the circumpolar region]. Printsipy ekologii, 2017, vol. 6, no. 3, pp. 4–19. <https://doi.org/10.15393/j1.art.2017.6302>
2. Bastrakov A.I., Doncov A.E., Ushakova N.A. Mukha chernaya l'vinka *Hermetia illucens* v usloviyakh iskusstvennogo razvedeniya – vozobnovlyаемый источник меланин-хитозанового комплекса [*Hermetia illucens* black soldier fly under artificial breeding conditions is a renewable source of melanin–chitosan complex]. Izvestiya ufimskogo nauchnogo tsentra RAN, 2016, no. 4, pp. 77–79.
3. Pestov G.V., Sidorov R.A., Glazunova A.V., Butenko S.A. Biotekhnologicheskaya utilizatsiya organicheskikh otkhodov s pomoshch'yu nasekomogo *Hermetia illucens* (chernaya l'vinka) [Biotechnological utilization of organic waste using the insect *Hermetia illucens* (black soldier fly)]. Problemy nauchnoy mysli, 2021, vol. 7, no. 4, pp. 23–25.
4. Decree of the President of the Russian Federation of May 7, 2018 N 204 “On the national goals and strategic objectives of the development of the Russian Federation for the period up to 2024”. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43027>
5. Ushakova N.A., Nekrasov R.V. *Perspektivy ispol'zovaniya nasekomykh v kormlenii sel'skohozyajstvennykh zhivotnykh. Biotekhnologiya: sostoyanie i perspektivy razvitiya. Materialy VIII Moskovskogo mezhdunarodnogo kongressa ZAO «Ekspo-biohim-tekhnologii», RHTU im. D. I. Mendeleeva* [Materials of the

- VIII Moscow International Congress / Expo-Biochim-Technologies CJSC, D. I. Mendeleev]. Moscow, March 17–20, 2015, Moscow, 2015, pp. 147–149.
6. Alvarez L. The Role of Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) in Sustainable Waste Management in Northern Climates, Electronic Theses and Dissertations. 2012, p. 402.
 7. Barragan-Fonseca K., Pineda-Mejia J., Dicke, M., van Loon J.J.A. Performance of the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) on Vegetable Residue-Based Diets Formulated Based on Protein and Carbohydrate Contents. *J. Econ. Entomol.*, 2018. <https://doi.org/10.1093/jee/toy270>
 8. Dabbou S., Gai F., Biasato I., Capucchio M.T., Biasibetti E., Dezzutto D., Meneguz M., Placha I., Gasco L., Schiavone A. Black soldier fly defatted meal as a dietary protein source for broiler chickens: Effects on growth performance, blood traits, gut morphology and histological features. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 2018, vol. 13, no. 10. <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0266-9>
 9. Diener S., Studt S.N., Roa G.F., Zurbrugg C., Tockner K. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. *Waste Biomass Valorization*, 2011, vol. 2, no. 4, pp. 357–363. <https://doi.org/10.1007/s12649-011-9079-1>
 10. Ewald N., Vidakovic A., Langeland M., Kiessling A., Sampels S., Lalander C. Fatty acid composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*)—Possibilities and limitations for modification through diet. *Waste Manag.*, 2020, vol. 102, pp. 40–47. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.014>
 11. Giannetto A., Oliva S., Ceccon Lanes C.F., de Araujo Pedro F., Savastano D., Baviera C., Parrino V., Lopardo G., Spano N.C., Cappello T., et al. *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae and prepupae: Biomass production, fatty acid profile and expression of key genes involved in lipid metabolism. *J. Biotechnol.*, 2020, vol. 307, pp. 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2019.10.015>
 12. Kenis M., Kone N., Chrysostome C.A.A.M., Devic E., Koko G.K.D., Clotley V.A., Nacambo S., Mensah G.A. Insects used for animal feed in West Africa. *Entomologia*, 2014, vol. 2. <https://doi.org/10.4081/entomologia.2014.218>
 13. Khan S.H. Recent advances in role of insects as alternative protein source in poultry nutrition. *J. Appl. Anim. Res.*, 2018, vol. 46, pp. 1144–1157. <https://doi.org/10.1080/09712119.2018.1474743>
 14. Laureati M., Proserpio C., Jucker C., Savoldelli S. New sustainable protein sources: Consumers' willingness to adopt insects as feed and food. *Ital. J. Food Sci.*, 2016, vol. 28, pp. 652–668.
 15. Li Q., Zheng L., Cai H., Garza E., Yu Z., Zhou S. From organic waste to bio-diesel: Black soldier fly, *Hermetia illucens*, makes it feasible. *Fuel*, 2011, vol. 90, pp. 1545–1548. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.11.016>

16. Liu C., Wang C., Yao H. Comprehensive Resource Utilization of Waste Using the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* L.) (Diptera: Stratiomyidae). *Animals*, 2019, vol. 9, p. 349. <https://doi.org/10.3390/ani9060349>
17. Mai H.C., Dao N.D., Lam T.D., Nguyen B.V., Nguyen D.C., Bach L.G. Purification Process, Physicochemical Properties, and Fatty Acid Composition of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* Linnaeus) Larvae Oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 2019, vol. 96, pp. 1303–1311. <https://doi.org/10.1002/aocs.12263>
18. Ruhnke I., Normant C., Campbell D.L.M., Iqbal Z., Lee C., Hinch G.N., Roberts J. Impact of on-range choice feeding with black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) on flock performance, egg quality, and range use of free-range laying hens. *Anim. Nutr.*, 2018, vol. 4, pp. 452–460. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.03.005>
19. Schiavone A., Dabbou S., De Marco M., Cullere M., Biasato I., Biasibetti E., Capucchio M.T., Bergagna S., Dezzutto D., Meneguz M., et al. Black soldier fly larva fat inclusion in finisher broiler chicken diet as an alternative fat source. *Animal*, 2018, vol. 12, pp. 2032–2039. <https://doi.org/10.1017/S1751731117003743>
20. Schiavone A., De Marco M., Martinez, S., Dabbou S., Renna M., Madrid J., Hernandez F., Rotolo L., Costa P., Gai F., et al. Nutritional value of a partially defatted and a highly defatted black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) meal for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent metabolizable energy and apparent ileal amino acid digestibility. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 2017, vol. 8, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0181-5>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Песцов Георгий Вячеславович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий микробиологической лабораторией центра технологического превосходства «Передовые химические и биотехнологии» Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого
пр. Ленина 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
georgypestsov@gmail.com

Третьякова Анастасия Валерьевна, аспирант кафедры биологии и технологии живых систем, младший научный сотрудник центра технологического превосходства «Передовые химические и биотехнологии» Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого
пр. Ленина 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
glazunovaanastasiya@gmail.com

Прокудина Ольга Владимировна, магистрант 1 курса кафедры биологии и технологии живых систем, лаборант технопарка универсальных педагогических компетенций
*Тульский государственный педагогический ун-т им. Л.Н. Толстого
пр. Ленина 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
prokudinaolga11@gmail.com*

Бутенко Сергей Алексеевич, директор
*ООО «Львинка»
пл. Октября, 6, г. Белев, 301530, Российская Федерация
b@lvinka.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Georgiy V. Pestsov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Microbiological Laboratory of the Center for Technological Excellence “Advanced Chemical and Biotechnology”
*Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University
125, Lenin Ave., Tula, 300026, Russian Federation
georgypestsov@gmail.com*

Anastasia V. Tretyakova, Postgraduate at the Department of Biology and Technology of Living Systems, research assistant Center of Technological Excellence “Advanced Chemical and Biotechnology”
*Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University
125, Lenin Ave., Tula, 300026, Russian Federation
glazynovaanastasiya@gmail.com*

Olga V. Prokudina, 1st year Master’s student of the Department of Biology and Technology of Living Systems, laboratory assistant of the Technopark of Universal Pedagogical Competencies
*Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University
125, Lenin Ave., Tula, 300026, Russian Federation
prokudinaolga11@gmail.com*

Sergey A. Butenko, Director
*LLC “Lvinka”
6, October pl., Belev, 301530, Russian Federation
b@lvinka.ru*

Поступила 14.10.2022

После рецензирования 01.11.2022

Принята 28.11.2022

Received 14.10.2022

Revised 01.11.2022

Accepted 28.11.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-41-57

УДК 591.111.1: 632.722



Научная статья | Физиология человека и животных

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕМОЦИТОВ НИМФ И ИМАГО VLAPTICA DUBIA (SERVILLE, 1839)

Е.А. Гребцова, А.А. Присный

Цель исследования. Проанализировать изменения состава форменных элементов гемолимфы и их морфологические характеристики у *Vlaptica dubia* с возрастом. Определить взаимосвязь сферулоцитов и серповидных клеток.

Материалы и методы. Проведены количественные и морфологические исследования гемоцитов имаго и нимф 1-4 возрастов *Vlaptica dubia* с применением световой микроскопии и атомно-силовой микроскопии. Измерение клеток, ядер и гранул осуществляли с помощью программного обеспечения NIS-Elements и Nova. Для идентификации отдельных типов клеток применяли цитохимические тесты с нейтральным красным и альциановым синим.

Результаты. В данном исследовании приведена классификация гемоцитов *Vlaptica dubia*, основанная на морфологических и цитохимических особенностях клеток. Проанализирована динамика соотношения гемоцитарных типов у 6 нимф четырех возрастов и 6 имаго, уделено особое внимание периоду, когда происходит линька. Идентифицированы и описаны 7 гемоцитарных типов: прогемоциты, плазмоциты, гранулоциты, вермициты, сферулоциты, коагулоциты и серповидные клетки. Преобладающим гемоцитарным типом нимф являются стволовые клетки – прогемоциты, а также сферулоциты. По мере взросления доля прогемоцитов падает и возрастает количество плазмоцитов и гранулоцитов. В момент выхода из оотеки и в период линьки доля сферулоцитов может увеличиваться до 35%. Благодаря изучению гемоцитарного состава у нимф разного возраста выявлены промежуточные клеточные типы и представлены возможные пути их превращений. Обнаружены необычные серповидные гемоциты, ранее считавшиеся уникальными для *Gromphadorhina portentosa*. Впервые проведен цитохимический тест, позволяющий отследить происхождение серповидных клеток от сферулоцитов.

Ключевые слова: гемоциты насекомых; сферулоциты; серповидные клетки; гемолимфа

Для цитирования. Гребцова Е.А., Присный А.А. Морфологические и количественные исследования гемоцитов нимф и имаго *Blaptica Dubia* (Serville, 1839) // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №2. С. 41-57. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-41-57

Original article | Human and Animal Physiology

MORPHOLOGICAL AND QUANTITATIVE STUDIES OF THE HEMOCYTES IN NYMPH AND IMAGO OF BLAPTICA DUBIA (SERVILLE, 1839)

E.A. Grebtsova, A.A. Prisnyi

*The purpose of the research is to analyze how the hemocyte counts and their morphological characteristics change during development of *Blaptica dubia*, especially during molting. And to suggest a possible scheme of the transformation of spherulocytes into crescent-cells.*

Materials and methods. *Quantitative and morphological features of hemocytes of imago and nymphs of 1-4 stages of *Blaptica dubia* using light microscopy and AFM were researched. Cell, nucleus and granule sizes were determined using NIS-Elements and NOVA software. Cytochemical tests with neutral red and alcyan blue allowed us to identify different cell types.*

Results. *This study presents a classification of hemocytes in *Blaptica dubia*, that based on morphological and cytochemical characteristics of cells. We analyzed the dynamics of the hemocytes counts in 6 nymphs (1-4 stages) and 6 imago. Special attention is given to the moment of molting. Seven hemocyte types were described and identified as: prohemocytes, plasmocytes, granulocytes, vermicytes, spherulocytes, coagulocytes and crescent-cells. The stem cells (prohemocytes) and spherulocytes were the predominant hemocytes. Prohemocytes counts decrease as a result of insect development, instead the relative number of plasmocytes and granulocytes increases. Spherulocytes counts could increase to 35% at the moment of leaving the ootheca and at the molting period. Due to the study of hemocytes diversity in different nymph stages, interim cells and possible ways of their transformations were identified. The unusual crescent-cells, that were unique for *Gromphadorhina portentosa*, had been found in *Blaptica dubia*. For the first time, the cytochemical test allowed to determine the origin of crescent-cells from spherulocytes.*

Keywords: *insect hemocytes; spherulocytes; crescent-cells; hemolymph*

For citation. Grebtsova E.A., Prisnyi A.A. *Morphological and Quantitative Studies of the Hemo-Cytes in Nymph and Imago of Blaptica Dubia (Serville, 1839).* Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 41-57. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-41-57

Введение

Несмотря на возросший в последние десятилетия интерес к изучению клеточного состава гемолимфы насекомых и особенностям клеточного иммунного ответа, существуют пробелы в идентификации и определении роли отдельных гемоцитарных типов. Это связано с различными подходами к классификации клеток, с отсутствием единых цитохимических тестов для идентификации гемоцитов, а также с отличием клеточных типов между отрядами насекомых. Наибольший интерес представляют виды отряда Blattodea – это обусловлено широким разнообразием клеток гемолимфы.

Анализ гемоцитарного состава на разных этапах развития насекомого, особенно в такой уязвимый период как линька, позволяет увидеть более полную картину. Особое значение имеет сочетание методов прижизненного изучения нативных клеток и окрашенных препаратов.

В более раннем исследовании морфофункциональных особенностей гемоцитов тараканов особое внимание привлек вид *Gromphadorhina portentosa*, отличающийся наиболее разнообразным гемоцитарным составом [1]. В гемолимфе имаго обнаружены серповидные клетки, первое упоминание которых датируется 1965 годом [28]. Gupta отнес данный тип форменных элементов к энцитоидам, отвергнув предположение Jones о том, что эти клетки являются вариацией сферулоцитов [13; 19]. К сожалению, в литературе не встречается подробного морфологического описания энцитоеидов с фотографиями, или примеры стандартизированных гистохимических тестов, позволяющих идентифицировать энцитоеиды у всех отрядов насекомых именно в гемолимфе. В работе Burns с соавторами приводится вариант подобного теста на основе использования стрептовидина, однако он отработан лишь на 2-х отрядах насекомых [8]. Единственная причина, по которой серповидные клетки были отнесены Gupta к энцитоеидам – это положительная ШИК-реакция «серповидного включения», хотя она свойственна и гранулоцитам.

Материалы и методы

Исследованы гемоциты тараканов вида *Blaptica dubia*, относящихся к семейству Blaberidae. В представленной работе описаны данные по насекомым, прошедшим 4 линьки, а также имаго. Отобраны 6 имаго и их потомство – 6 нимф, только что вышедших из оотеки. Гемолимфу для

анализа отбирали в те же сутки после линьки. Дополнительно анализ гемолимфы проводили спустя 20 суток после каждой линьки, чтобы зафиксировать возможные изменения количества сферулоцитов.

Проведено 2 серии экспериментов. Первая серия связана с изучением гемоцитов при инкубации в изотоническом растворе с помощью инвертированного микроскопа Nikon Digital Eclipse Ti-E. Применение атомно-силовой микроскопии («Интегра Вита» NT-MDT) нативных препаратов позволило определить высоту гемоцитов. Измерены линейные параметры гемоцитов и их структур: диаметр круглых клеток, ядер, гранул; длина и ширина овальных клеток и ядер; рассчитано ядерно-цитоплазматическое отношение. Измерения осуществляли с помощью программного обеспечения NIS-Elements и NOVA. Площадь цитоплазмы и площадь ядра рассчитывали в зависимости от их формы по формулам для круга и эллипса:

$$S = \pi \times R^2, \quad (1)$$

где S – площадь (μm^2); R – радиус (μm).

$$S = \pi \times a \times b, \quad (2)$$

где S – площадь (μm^2); R – радиус (μm).

Величину ядерно-цитоплазматического отношения (ЯЦО) вычисляли по формуле:

$$\text{ЯЦО} = S_{\text{я}} / S_{\text{ц}}, \quad (3)$$

где $S_{\text{ц}}$ – площадь цитоплазмы (μm^2), $S_{\text{я}}$ – площадь ядра (μm^2)

Используя значения полученных линейных размеров, рассчитывали площадь поверхности клеток и их объём по формуле для эллипсоида вращения:

$$S = 4\pi[(a^p b^{p+1} + a^p c^{p+1} + b^p c^{p+1})/3]^{1/p} \quad [4]$$

где S – площадь поверхности гемоцита (μm^2); a – большая полуось, т.е. длина (μm); b – малая полуось, т.е. высота (μm); c – средняя полуось, т.е. ширина (μm); $p=1,6075$ – коэффициент К. Томсена;

Второй этап связан с проведением цитохимических тестов. Выявление лизосом в гемоцитах проводили с помощью нейтрального красного красителя [27]. Тест с альциановым синим при pH 1,0 позволил провести границу между гранулоцитами, сферулоцитами и серповидными клетками, а также их промежуточными формами [3].

Проверку нормальности распределения количественных показателей осуществляли с использованием критерия Колмогорова–Смирнова ввиду большой величины выборки ($n > 50$). Различия между данными, распределёнными нормально, оценивали с помощью t-критерия Стьюдента. Критический уровень значимости был принят за 0,05.

Результаты

Из 12 ранее изученных видов тараканов [1; 2] нам удалось обнаружить и впервые описать серповидные гемоциты только у *Gromphadorhina portentosa*, а теперь и у *B. dubia*. У других представителей семейства Blaberidae (*Blaberus craniifer*, *Eublaberus marajoara*, *Phoetalia pallida*, *Gyna lurida*, *Archimandrita tessellata*) наличие таких гемоцитов нами не зафиксировано.

В состав форменных элементов гемолимфы имаго *B. dubia* входит 7 типов клеток: прогемоциты (Pr), плазмоциты (Pl), гранулоциты (Gr), сфероциты (Sph), вермициты (Ver), коагулоциты (Co), серповидные клетки (Cr). Гемоцитарные формулы представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Соотношение гемоцитарных типов в гемолимфе имаго и нимфы в первые сутки после линьки

Доля гемоцитов, %	Pr	Pl	Gr	Sph	Ver	Co	Cr
Нимфы 1	23,8±2,7	10,4±2,6	18,3±2,1	34,8±3,7	6,2±2,6	2,4±0,7	4,1±0,6
Нимфы 2	17,1±1,5	12,3±1,8	18,0±2,7	33,3±2,5	8,9±3,8	5,4±1,2	5,0±1,4
Нимфы 3	10,4±2,2*	11,1±2,1	26,6±3,8*	34,1±3,6	5,3±1,1	7,7±3,3*	4,8±0,8
Нимфы 4	8,8±2,5*	12,4±2,7	27,7±2,2*	32,9±3,9	7,3±1,9	4,6±1,2	6,3±1,9
Имаго	6,3±1,9*	14,7±4,2*	33,8±4,5*	25,6±2,7*	9,8±1,3*	3,0±1,8	6,8±1,2

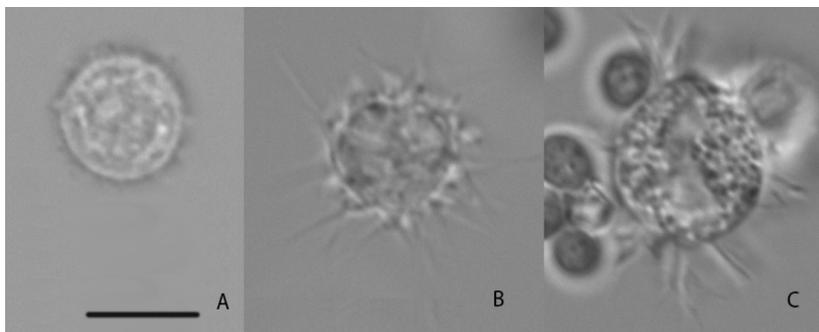
* – статистически достоверные различия между количеством гемоцитов в период между в разном возрасте по критерию Стьюдента при $p < 0,05$.

Прогемоциты (Pr) – самые малочисленные клетки имаго, которые относятся к стволовым (рис. 1, А); [5; 6; 7]. Гемоциты характеризуются наименьшими размерами (диаметр не более 7,2 μm), округлой плоской формой. Тонкий слой нейтральной цитоплазмы без гранул окружает крупное ядро, величина ядерно-цитоплазматического отношения (ЯЦО) наибольшая среди всех гемоцитарных типов (таблица 2). Прогемоциты не дают положительной реакции с нейтральным красным, что говорит об отсутствии у них лизосом. По мере взросления насекомых количество прогемоцитов снижается в 3-4 раза. Повышенное содержание прогемоцитов в гемолимфе у только что вышедших из оотеки насекомых и их последующее сокращение связано с постепенной дифференцировкой прогемоцитов в другие гемоцитарные типы [9].

Таблица 2.

Размерные характеристики гемоцитов

Тип клеток	<i>B. dubia</i>	
	S поверхности клетки, μm^2	ЯЦО
Pr	171,08±30,82	0,48±0,18
Pl	211,03±21,04	0,14±0,06
Gr	352,64±64	0,08±0,03
Sph	381,20±63,87	0,10±0,03
Ver	302,89±47,58	0,10±0,03
Co	253,49±22,86	0,33±0,08
Cr	750,67±106,85	0,09±0,04

Рис. 1. А – прогемоцит; В – плазмцит; С – гранулоцит. Линейка 10 μm

Плазмциты (рис. 1, В) – клетки, выполняющие фагоцитарную функцию. Благодаря способности формировать различные типы псевдоподий (лобоподии и ризоподии) отличаются значительной полиморфностью. Цитоплазма содержит небольшое количество внутриклеточных включений. Плазмциты накапливают нейтральный красный благодаря наличию в цитоплазме лизосом. Лизосомы занимают значительную площадь клетки. Плазмциты характеризуются высокой скоростью адгезии к стеклу и быстрым распластыванием (в течение 10 минут), перечисленные свойства подтверждают их основную роль в процессах инкапсуляции инородных объектов [12; 16; 25; 29]. Доля плазмцитов колеблется у насекомых в разные периоды развития в незначительных пределах. Однако замечена тенденция к росту их количества (таблица 2).

Гранулоциты (рис. 1, С) отличаются сильно зернистой цитоплазмой, более крупными размерами, чем плазмциты. Способность формировать

псевдоподии и накопление нейтрального красного в гранулах подтверждает гемоцитарную функцию этих клеток [12; 18; 20; 21]. Прикрепление к субстрату и распластывание происходит медленнее, чем у плазмоцитов – обычно спустя 20 минут. Доля гранулоцитов минимальна у самых молодых нимф, и увеличивается с возрастом, что особенно заметно после второй линьки. Далее увеличение количества гранулоцитов идет более плавно (таблица 2).

Вермициты – редко встречающийся гемоцитарный тип, возможно, является разновидностью плазмоцитов. Их присутствие было зафиксировано не у всех особей. Отличаются веретеновидной или вытянутой формой, пучки псевдоподий формируются на концах клетки, реже – по всему периметру (рис. 2, А).

Коагулоциты – дисковидные клетки с почти гомогенной цитоплазмой и крупным округлым ядром (рис. 2, В). Немногочисленный клеточный тип, вне организма нативные коагулоциты нестабильны, разрушаются довольно быстро. Выявить определенной закономерности относительно числа коагулоцитов в гемолимфе особей разных возрастов не удалось. Хотя после второй линьки их доля увеличилась, затем показатели пошли на спад с последующими линьками.

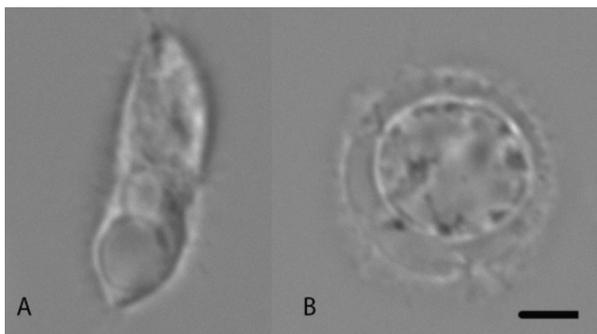


Рис. 2. Вермицит и коагулоцит *B. dubia*. Линейка 5 μm

Сферулоциты нимф и имаго отличаются многообразием форм: круглая, яйцевидная, овальная, веретеновидная. Размеры клеток также могут отличаться у одной особи. Общими чертами всех сферулоцитов являются неспособность формировать псевдоподии и наличие крупных гранул – сферул (диаметр $1,5 \pm 0,3 \mu\text{m}$) [22; 23; 24]. Однако у нимф 2-3 возраста зафиксированы единичные случаи, когда клетки, похожие на

сферулоциты, имели небольшое количество псевдоподий. Сферулоциты, также как фагоцитирующие гемоциты (гранулоциты, плазмоциты и вермициты), окрашиваются нейтральным красным. А именно, нейтральный красный накапливается в сферулах. Это могло бы косвенно свидетельствовать о потенциальной способности сферулоцитов к фагоцитозу. Однако содержимое сферул не идентично лизосомальным ферментам. Дополнительные тесты с альциановым синим при pH 1,0, позволили выявить наличие высокосульфатированных мукополисахаридов в сферулоцитах. В ряде исследований сферулоциты упоминаются как малочисленные, крайне нестабильные клетки, которые быстро разрушаются вне организма [13; 14; 15; 19; 26; 28]. Однако за все время наших наблюдений, сферулоциты всех представителей отряда, напротив, демонстрируют устойчивость и в физиологическом растворе, и при проведении осмотических тестов [1; 2].

Анализ гемоцитарного состава в периоды между линьками позволило подтвердить информацию и для *B. dubia*, что доля сферулоцитов повышается в период линьки и сразу после нее (таблица 3) [4].

Таблица 3.

Доля сферулоцитов в гемолимфе *B. dubia* на разных этапах развития

	Нимфы 1	Нимфы 2	Нимфы 3	Нимфы 4
Первые сутки после линьки // выхода из оотеки	34,8±3,7*	33,3±2,5*	34,1±3,6*	32,9±3,9*
Период между линьками	23,12±1,3	18,8±2,9	20,7±1,1	22,5±3,3

* – статистически достоверные различия между количеством сферулоцитов в период между линьками и в момент линьки по критерию Стьюдента при $p < 0,05$.

Серповидные клетки – уникальный гемоцитарный тип, ранее обнаруженный только у *G. portentosa*. Мы зафиксировали наличие этих клеток и у *B. dubia*. Их доля в гемолимфе насекомых любого возраста редко достигает 7%. Впервые данные гемоциты были описаны Ritter в 1965 как клетки серповидной формы [28]. Исследование нативных препаратов позволяет говорить о многообразии форм этих клеток и проследить за их превращениями. Ранее у имаго *G. portentosa* нами описаны процессы экстрюзии ядра (рис. 4) и части цитоплазмы с филоподиями от «серповидного тела», с последующим замыканием его концов [1]. За длительный период наблюдений экстрюзия ядра ни разу не была зафиксирована у нимф. Это говорит о том, что данное явление характерно только для взрослых особей. Особенностью нимф также является присутствие переходных форм

клеток. Эти гемоциты обладают морфологическими особенностями как сферулоцитов, так и серповидных клеток.

Благодаря обнаружению подобных промежуточных форм, мы предполагаем, что в серповидные клетки берут начало именно от сферулоцитов, и не являются энцитоидами. Во-первых, клетки приобретают способность формировать филоподии, свойственные серповидным гемоцитам. Во-вторых, на определенном этапе происходит постепенное слияние сферул (рис. 3, С), по всей видимости, сферулы теряют свое содержимое или высокосульфатированные мукополисахариды подвергаются каким-то превращениям до других соединений [3].

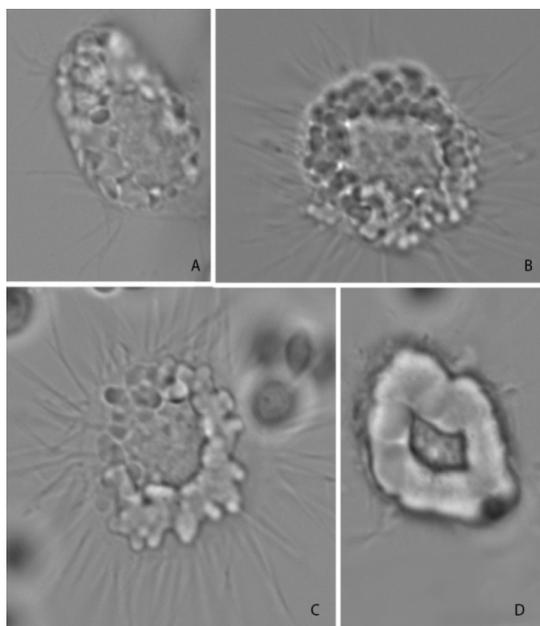


Рис. 3. Различные этапы превращения сферулоцитов в серповидные клетки. А – появление псевдоподий; В – увеличение количества и длины псевдоподий; С – постепенное слияние сферул; D – полное слияние сферул в однородное образование.

Об этом говорят цитохимические тесты с альциановым синим при pH 1,0: мелкие сферулы дают положительную реакцию (как у сферулоцитов), а в месте слияния 2 и более сферул – окрашивания в голубой цвет мы не наблюдаем (рис. 4). Возможно, происходит гидролиз кислых мукополи-

сахаридов до гликозамина, который необходим для синтеза хитина [4; 10; 11;]. Это факт особенно интересен, потому что количество сферулоцитов повышается после линьки. В то же время кислые мукополисахариды играют важную роль в инкапсуляции [17; 31]. Несмотря на то, что сферулоциты не принимают непосредственной роли в поглощении инородных объектов, содержимое их сферул может привлекать фагоцитов к месту формирования капсулы [26; 30; 31].

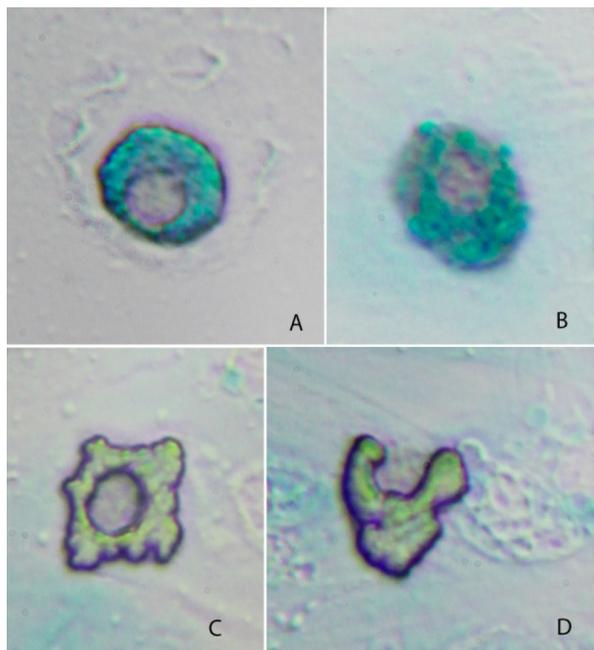


Рис. 4. Окрашивание ализариновым синим при pH 1.0. А и В – положительная реакция переходных форм клеток, С и D – отрицательная реакция серповидных клеток.

По мере дальнейшего старения клеток происходит полное слияние сферул в единое образование, которое не окрашивается ализариновым синим. Постепенное слияние сферул сопровождается вытеснением ядра к периферии клетки, с дальнейшей его экструзией с частью цитоплазмы. В настоящий момент остается неясным, продолжает ли вытесненное ядро с ободком цитоплазмы функционировать или же подвергается дальнейшей деградации.

Заключение

Согласно результатам исследования, идентифицировано 7 гемоцитарных типов *B. dubia*, соотношение которых менялось на четырех стадиях развития нимфы, а также у имаго. При этом вермициты не являются обязательным клеточным типом. Повышение доли сферулоцитов в период линьки демонстрирует их вероятную роль в формировании кутикулы. Наличие переходных гемоцитарных типов позволяет выявить стадии развития серповидных клеток и их родство со сферулоцитами, а не с энцитоидами.

Список литературы

1. Гребцова Е. А. Морфофункциональная характеристика и осморегуляторные реакции гемоцитов представителей отряда Dictyoptera: диссертация ... кандидата биологических наук: 03.03.01 / Гребцова Елена Александровна; [Место защиты: Белгород. гос. аграр. ун-т им. В.Я. Горина]. Белгород, 2017. 184 с.
2. Присный А.А. Сравнительный анализ морфофункционального статуса клеточных элементов циркулирующих жидкостей беспозвоночных животных: дис. ... докт. биол. наук: 03.03.01 / Присный Андрей Андреевич. Белгород, 2016. 403 с.
3. Ashhurst D. E. Histochemical properties of the spherulocytes of *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae) // International Journal of Insect Morphology and Embryology. 1982. Vol. 11. P. 285-292. [https://doi.org/10.1016/0020-7322\(82\)90017-4](https://doi.org/10.1016/0020-7322(82)90017-4)
4. Akesson B. Observations on the haemocytes during the metamorphosis of *Calliphora erythrocephala* (Meig.) // Ark. Zool. 1954. Vol. 6, №12. P. 203-11.
5. Ben Dhahbi A., Chargui, Y., Boulaaras S.M., Ben Khalifa S., Koko W. and Alreshedi F. Mathematical Modelling of the Sterile Insect Technique Using Different Release Strategies. *Mathematical Problems in Engineering*. 2020. P.1-9.
6. Brehélin M., Zachary D., Hoffmann J.A. A comparative ultrastructural study of blood cells from nine insect orders // *Cell Tissue Res*. 1978. V.195. P. 45-57. <https://doi.org/10.1007/BF00233676>
7. Browne N., Heelan M., Kavanagh K. An analysis of the structural and functional similarities of insect hemocytes and mammalian phagocytes // *Virulence* 2013. Vol. 4. P.597-603. <https://doi.org/10.4161/viru.25906>
8. Burns K. A., Gutzwiller L. M., Tomoyasu Y., Gebelein B. Oenocyte development in the red flour beetle *Tribolium castaneum* // *Development genes and evolution*. 2012. Vol. 222, №2. P. 77-88. <https://doi.org/10.1007/s00427-012-0390-z>
9. Csordás G., Grawe F., Uhlírova M. Eater cooperates with multiplexin to drive the formation of hematopoietic compartments // *eLife*. 2020. Vol. 9. e57297. <https://doi.org/10.7554/eLife.57297>

10. Day M. F. The occurrence of mucoid substances in insects // Australian Journal of Biological Sciences. 1949. Vol. 2, № 4. P. 421-427.
11. Dennell R. A study of an insect cuticle; the larval cuticle of *Sarcophaga falculata* Pand. (Diptera) // Proc R Soc Lond B Biol Sci. 1946. Vol. 133. P. 348-373. <https://doi.org/10.1098/rspb.1946.0017>
12. Dubovskiy I., Kryukova N., Glupov V., Ratcliffe N. Encapsulation and nodulation in insects // Invertebrate Survival Journal. 2016. Vol. 13. P. 229-246.
13. Gupta A. P. The Identity of the So-called Crescent Cell in the Hemolymph of the Cockroach, *Gromphadorhina portentosa* (Schaum) (Dictyoptera: Blaberidae) // Cytologia. 1985. Vol. 50. P. 739-745.
14. Gupta A. P., Sutherland D. J. Observations on the spherule cells in some Blattaria (Orthoptera) // Bull. ent. Soc. Am. 1965. Vol. 11. P. 161.
15. Gupta A.P., Sutherland D.J. Phase contrast and histochemical studies of spherule cells in cockroaches (Dictyoptera) // Ann Entomol Soc Am. 1967. V. 60, №3. P. 557-565. <https://doi.org/10.1093/aesa/60.3.557>
16. Ermak M. V., Matsishina N. V., Fisenko P. V., Sobko O. A. and Volkov D. I. Ontogenetic features of the morphology of hemolymph cells in *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Coleoptera: Coccinellidae) as an indicator of biodiversity // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2022. 042057. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/4/042057>
17. Hackman R.H. Studies on chitin. I. Enzymic degradation of chitin and chitin esters // Aust J Biol Sci. 1954. Vol. 7, № 2. P. 168-78. <https://doi.org/10.1071/bi9540168>
18. İzzetoğlu S., Yıkılmaz M., Turgay-İzzetoğlu G. Ultrastructural characterization of hemocytes in the oriental cockroach *Blatta orientalis* (Blattodea: Blattidae) // Zoomorphology. 2022. V. 141. P. 95-100. <https://doi.org/10.1007/s00435-021-00550-4>
19. Jones J. C. Forms and functions of insect hemocytes. // Invertebrate Immunity, eds. K. Maramorosch and R. E. Shoppe. 1975. P. 119-129.
20. Kolundžić E., Kovačević G., Špoljar M., Sirovina D. A comparison of hemocytes in Phasmatodea and Blattodea species // Entomol News. 2018. V.127. P.471–477. <https://doi.org/10.3157/021.127.0510>
21. Kwon H., Bang K., Cho S. Characterization of the hemocytes in larvae of *Protaetia brevitarsis seulensis*: involvement of granulocyte-mediated phagocytosis. // PLoS ONE. 2014. Vol. 9. P. 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103620>
22. Liegeois S., Ferrandon D. An atlas for hemocytes in an insect // eLife. 2020 Vol. 9. <https://doi.org/10.7554/eLife.59113>

23. Lubawy, J., Słocińska, M. Characterization of *Gromphadorhina coquereliana* hemolymph under cold stress // Sci Rep. 2020. Vol. 10, 12076. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68941-z>
24. Majumder J., Ghosh D., Agarwala B.K. Haemocyte Morphology and Differential Haemocyte Counts of Giant Ladybird Beetle *Anisolemnia dilatata* (F.) (Coleoptera:Coccinellidae): A Unique Predator of Bamboo Woolly Aphids // Current Science. 2017. Vol. 112, №1. P. 160-164.
25. Mase A., Augsburg J., Brückner K. Macrophages and their organ locations shape each other in development and homeostasis—A *Drosophila* perspective // Front. Cell Dev. Biol. 2021. Vol. 9, 630272.
26. Ratcliffe N. A. Spherule cell-test particle interactions in monolayer cultures of *Pieris brassicae* hemocytes // Journal of Invertebrate Pathology. 1975. Vol. 26, №2. P. 217–223. [https://doi.org/10.1016/0022-2011\(75\)90052-X](https://doi.org/10.1016/0022-2011(75)90052-X)
27. Richardson R.T., Ballinger M.N., Qian F. Christman J.W., Johnson R.M. Morphological and functional characterization of honey bee, *Apis mellifera*, hemocyte cell communities // Apidologie. 2018. Vol. 49, №3. P. 397-410. <https://doi.org/10.1007/s13592-018-0566-2>
28. Ritter H. Blood of a Cockroach: Unusual Cellular Behavior // Science. 1965. P. 518-519.
29. Ruiz E., López C. M. and Rivas F. A. Comparison of hemocytes of V-instar nymphs of *Rhodnius prolixus* (Stål) and *Rhodnius robustus* (Larousse 1927), before and after molting // RFM. 2015. Vol. 63(1). P. 11-17. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v63n1.44901>
30. Stanley D., Haas E., Kim Y. Beyond Cellular Immunity: On the Biological Significance of Insect Hemocytes // Cells. 2023. Vol. 12(4), 599. <https://doi.org/10.3390/cells12040599>
31. Whitten J. M. Hemocytes and metamorphosing tissues in *Sarcophaga bullata*, *Drosophila melanogaster* and other cyclorrhaphous Diptera // Journal of Insect Physiology. 1964. Vol.10, №3. P. 447-69.

References

1. Grebtsova E.A. *Morfofunktsional'naya kharakteristika i osmoregulyatornye reaktivnyye gemotsitov predstaviteley otryada Dictyoptera* [Morphofunctional characteristics and osmoregulatory reactions of hemocytes of representatives of the order Dictyoptera]. Belgorod, 2017, 184 p.
2. Prisnyy A.A. *Sravnitel'nyy analiz morfofunktsional'nogo statusa kletochnykh elementov tsirkuliruyushchikh zhidkostey bespozvonochnykh zhivotnykh* [Comparative analysis of the morphofunctional status of cellular elements of circulating fluids of invertebrate animals]. Belgorod, 2016, 403 p.

3. Ashhurst D. E. Histochemical properties of the spherulocytes of *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae). *International Journal of Insect Morphology and Embryology*, 1982, vol. 11, pp. 285-292. [https://doi.org/10.1016/0020-7322\(82\)90017-4](https://doi.org/10.1016/0020-7322(82)90017-4)
4. Akesson B. Observations on the haemocytes during the metamorphosis of *Calliphora erythrocephala* (Meig.). *Ark. Zool.*, 1954, vol. 6, no. 12, pp. 203-11.
5. Ben Dhahbi A., Chargui, Y., Boulaaras S.M., Ben Khalifa S., Koko W. and Al-resheedi F. Mathematical Modelling of the Sterile Insect Technique Using Different Release Strategies. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, pp. 1-9.
6. Brehélin M., Zachary D., Hoffmann J.A. A comparative ultrastructural study of blood cells from nine insect orders. *Cell Tissue Res.*, 1978, vol. 195, pp. 45–57. <https://doi.org/10.1007/BF00233676>
7. Browne N., Heelan M., Kavanagh K. An analysis of the structural and functional similarities of insect hemocytes and mammalian phagocytes. *Virulence*, 2013, vol. 4, pp. 597–603. <https://doi.org/10.4161/viru.25906>
8. Burns K. A., Gutzwiller L. M., Tomoyasu Y., Gebelein B. Oenocyte development in the red flour beetle *Tribolium castaneum*. *Development genes and evolution*, 2012, vol. 222, no. 2, pp. 77-88. <https://doi.org/10.1007/s00427-012-0390-z>
9. Csordás G., Grawe F., Uhlířova M. Eater cooperates with multiplexin to drive the formation of hematopoietic compartments. *eLife*, 2020, vol. 9, e57297. <https://doi.org/10.7554/eLife.57297>
10. Day M. F. The occurrence of mucoid substances in insects. *Australian Journal of Biological Sciences*, 1949, vol. 2, no. 4, pp. 421-427.
11. Dennell R. A study of an insect cuticle; the larval cuticle of *Sarcophaga falcu-lata* Pand. (Diptera). *Proc R Soc Lond B Biol Sci.*, 1946, vol. 133, pp. 348-373. <https://doi.org/10.1098/rspb.1946.0017>
12. Dubovskiy I., Kryukova N., Glupov V., Ratcliffe N. Encapsulation and nodulation in insects. *Invertebrate Survival Journal*, 2016, vol. 13, pp. 229-246.
13. Gupta A. P. The Identity of the So-called Crescent Cell in the Hemolymph of the Cockroach, *Gromphadorhina portentosa* (Schaum) (Dictyoptera: Blaberidae). *Cytologia*, 1985, vol. 50, pp. 739-745.
14. Gupta A. P., Sutherland D. J. Observations on the spherule cells in some Blat-taria (Orthoptera). *Bull. ent. Soc. Am.*, 1965, vol. 11, p. 161.
15. Gupta A.P., Sutherland D.J. Phase contrast and histochemical studies of spherule cells in cockroaches (Dictyoptera). *Ann Entomol Soc Am.*, 1967, vol. 60, no. 3, pp. 557-565. <https://doi.org/10.1093/aesa/60.3.557>
16. Ermak M. V., Matsishina N. V., Fisenko P. V., Sobko O. A. and Volkov D. I. Ontogenetic features of the morphology of hemolymph cells in *Henosepilachna*

- vigintioctomaculata (Coleoptera: Coccinellidae) as an indicator of biodiversity. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2022, 042057. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/4/042057>
17. Hackman R.H. Studies on chitin. I. Enzymic degradation of chitin and chitin esters. *Aust J Biol Sci.*, 1954, vol. 7, no. 2, pp. 168-78. <https://doi.org/10.1071/bi9540168>
 18. İzzetoğlu S., Yıkılmaz M., Turgay-İzzetoğlu G. Ultrastructural characterization of hemocytes in the oriental cockroach *Blatta orientalis* (Blattodea: Blattidae). *Zoomorphology*, 2022, vol. 141, pp. 95-100. <https://doi.org/10.1007/s00435-021-00550-4>
 19. Jones J. C. Forms and functions of insect hemocytes. *Invertebrate Immunity*, eds. K. Maramorosch and R. E. Shoppe. 1975, pp. 119-129.
 20. Kolundžić E., Kovačević G., Špoljar M., Sirovina D. A comparison of hemocytes in Phasmatodea and Blattodea species. *Entomol News*, 2018, vol. 127, pp. 471–477. <https://doi.org/10.3157/021.127.0510>
 21. Kwon H., Bang K., Cho S. Characterization of the hemocytes in larvae of *Protaetia brevitarsis seulensis*: involvement of granulocyte-mediated phagocytosis. *PLoS ONE*, 2014, vol. 9, pp. 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103620>
 22. Liegeois S., Ferrandon D. An atlas for hemocytes in an insect. *eLife*, 2020, vol. 9. <https://doi.org/10.7554/eLife.59113>
 23. Lubawy, J., Słocińska, M. Characterization of Gromphadorhina coquereliana hemolymph under cold stress. *Sci Rep.*, 2020, vol. 10, 12076. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68941-z>
 24. Majumder J., Ghosh D., Agarwala B.K. Haemocyte Morphology and Differential Haemocyte Counts of Giant Ladybird Beetle *Anisolemnia dilatata* (F.) (Coleoptera:Coccinellidae): A Unique Predator of Bamboo Woolly Aphids. *Current Science*, 2017, vol. 112, no. 1, pp. 160-164.
 25. Mase A., Augsburg J., Brückner K. Macrophages and their organ locations shape each other in development and homeostasis—A *Drosophila* perspective. *Front. Cell Dev. Biol.*, 2021, vol. 9, 630272.
 26. Ratcliffe N. A. Spherule cell-test particle interactions in monolayer cultures of *Pieris brassicae* hemocytes. *Journal of Invertebrate Pathology*, 1975, vol. 26, no. 2, pp. 217–223. [https://doi.org/10.1016/0022-2011\(75\)90052-X](https://doi.org/10.1016/0022-2011(75)90052-X)
 27. Richardson R. T., Ballinger M.N., Qian F. Christman J.W., Johnson R.M. Morphological and functional characterization of honey bee, *Apis mellifera*, hemocyte cell communities. *Apidologie*, 2018, vol. 49, no. 3, pp. 397-410. <https://doi.org/10.1007/s13592-018-0566-2>

28. Ritter H. Blood of a Cockroach: Unusual Cellular Behavior. *Science*, 1965, pp. 518-519.
29. Ruiz E., López C. M. and Rivas F. A. Comparison of hemocytes of V-instar nymphs of *Rhodniusprolixus* (Stål) and *Rhodnius robustus* (Larousse 1927), before and after molting. *RFM*, 2015, vol. 63(1), pp. 11-17. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v63n1.44901>
30. Stanley D., Haas E., Kim Y. Beyond Cellular Immunity: On the Biological Significance of Insect Hemocytes. *Cells*, 2023, vol. 12(4), 599. <https://doi.org/10.3390/cells12040599>
31. Whitten J. M. Hemocytes and metamorphosing tissues in *Sarcophaga bullata*, *Drosophila melanogaster* and other cyclorrhaphous Diptera. *Journal of Insect Physiology*, 1964, vol. 10, no. 3, pp. 447-69.

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Гребцова Елена Александровна, кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры биологии
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»)
ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Российская Федерация
Grebtsova_e@bsu.edu.ru

Присный Андрей Андреевич, доктор биологических наук, директор Института фармации, химии и биологии, профессор кафедры биологии
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»)
ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Российская Федерация
andreyprisny@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHORS

Elena A. Grebtsova, PhD in biology, senior lecturer of biological department
Belgorod State National Research University

85, Pobedy Str., Belgorod, 308015, Russian Federation
Grebtsova_e@bsu.edu.ru
SPIN-code: 7716-1300
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0768-0490>
Scopus Author ID: 57190863865

Andrey A. Prisnyi, Doctor of Biology, Associated professor, Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology, Director
Belgorod State National Research University
85, Pobedy Str., Belgorod, 308015, Russian Federation
andreyprisny@gmail.com
SPIN-code: 2523-4576
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5229-8337>
ResearcherID: M-9243-2017
Scopus Author ID: 56358999400

Поступила 07.03.2023

После рецензирования 30.03.2023

Принята 18.04.2023

Received 07.03.2023

Revised 30.03.2023

Accepted 18.04.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-58-73

УДК 612.766



Научная статья | Физиология

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕГЕТАТИВНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ У ЛИЦ ПОЖИЛОГО ВОЗРАСТА С ПОСТУРАЛЬНОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТЬЮ

*Т.П. Ширяева, Д.М. Федотов, И.Н. Крайнова,
Ф. Рамирез Наварро*

Обоснование. Сохранность постурального баланса позволяет пожилым оставаться мобильными и вести активный образ жизни. Имеются данные о вкладе ВНС в обеспечение координации постуральных реакций и поддержание постуральной устойчивости у молодых лиц. Однако аналогичных данных для пожилых недостаточно и этот вопрос требует дополнительного изучения.

Цель. Выявить особенности функционирования ВНС у лиц пожилого возраста с постуральной нестабильностью.

Материалы и методы. У 120 женщин 60-74 лет провели анкетирование, антропометрию, оценку динамического компонента постурального баланса методом стабилومتрии и вариабельности сердечного ритма методом кардиоинтервалографии. В группу исследования вошли пожилые с постуральной нестабильностью (60 человек), в группу контроля – 60 женщин, не отмечавших таких фактов. Анализ данных выполнен с помощью «SPSS 27.0».

Результаты. Состояние постурального баланса в группе исследования характеризовалось снижением скорости ходьбы ($p=0,008$) и индекса подъема при движении с правой ноги ($p=0,016$), увеличением скорости колебания ЦМТ в фазе подъема ($p=0,047$), колебаний центра тяжести ($p<0,001$; $p=0,003$) и времени поворота ($p=0,44$; $p=0,36$) при движении с левой и правой ног.

Заключение. Полученные результаты демонстрируют снижение качества и эффективности регуляции постурального баланса у женщин пожилого возраста с постуральной нестабильностью. Мы не выявили значимых различий показателей, характеризующих активность различных отделов ВНС в зависимости от фактов постуральной нестабильности.

Ключевые слова: постуральная нестабильность; динамический компонент; постуральный баланс, вегетативная нервная система

Для цитирования. Ширяева Т.П., Федотов Д.М., Крайнова И.Н., Рамирез Наварро Ф. Функциональное состояние вегетативной нервной системы у лиц пожилого возраста с постуральной нестабильностью // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №2. С. 58-73. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-58-73

Original article | Physiology

FUNCTIONAL STATE OF THE AUTONOMIC NERVOUS SYSTEM IN ELDERLY PERSONS WITH POSTURAL INSTABILITY

*T.P. Shiryayeva, D.M. Fedotov, I.N. Krainova,
F. Ramirez Navarro*

Background. Preservation of postural balance allows the elderly people to remain mobile and lead an active lifestyle. There is evidence of the contribution of the ANS to the coordination of postural responses and the maintenance of postural stability in young adults. However, similar data for the elderly is not enough and this issue requires further study.

Purpose. To reveal the peculiarities of ANS functioning in elderly people with postural instability.

Materials and methods. In 120 women aged 60-74 years, a survey, anthropometry, assessment of the dynamic component of postural balance by stabilometry and heart rate variability by cardiointervalography were performed. The study group included elderly people with postural instability (60 people), the control group included 60 women who did not report such facts. Data analysis was performed using "SPSS 27.0".

Results. The state of postural balance in the study group was characterized by a decrease in walking speed ($p = 0.008$) and a rise index when moving from the right leg ($p = 0.016$), an increase in the speed of oscillations of the center of body mass in the lifting phase ($p = 0.047$), oscillations of the center of gravity during rotation when moving on the left ($p < 0.001$) and right ($p = 0.003$) legs, turn time when moving on the left ($p = 0.44$) and right ($p = 0.36$) legs.

Conclusion. The results demonstrate a decrease in the quality and efficiency of postural balance regulation in elderly women with postural instability. We did not reveal any significant differences in the indicators characterizing the activity of different parts of the ANS depending on the facts of postural instability.

Keywords: *postural instability; dynamic component; postural balance; autonomic nervous system*

For citation. *Shiryayeva T.P., Fedotov D.M., Krainova I.N., Ramirez Navarro F. Functional State of the Autonomic Nervous System in Elderly People with Postural Instability. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 58-73. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-58-73*

Обеспечение постуральной устойчивости является необходимым компонентом повседневного функционирования человека. Способность поддержания равновесия динамически изменяется в течение жизни и зависит от эффективности совместной работы опорно-двигательной и сенсорной систем, координируемых в свою очередь нервной системой [3, 4, 8].

Сохранность постурального баланса, определяемого как способность организма удерживать тело в вертикальном положении в покое, при ходьбе и других двигательных актах у пожилых людей обеспечивает возможность оставаться мобильными, вести активный образ жизни и быть интегрированными в социум. При этом с возрастным отмечается нарастающее снижение мышечной силы и осанки, нарушение когнитивных функций и снижение двигательных реакций, ухудшение зрительной и вестибулярной систем снижает чувство ориентации и осознание тела, что увеличивает время двигательной реакции и влияет на координацию движений. Случаи постуральной нестабильности и их следствия – падения встречаются у 15–36% пожилых являются значительным фактором риска, способным привести к травмам и ограничению подвижности [5, 6, 18].

Одним из факторов, определяющих качество поддержания постуральной устойчивости, является эффективность функционирования вегетативной нервной системы (ВНС). Известно, что мышечная и вегетативная нервная системы у человека имеют значительные компенсаторные возможности, и при длительных перегрузках постуральное перепрограммирование протекает постепенно [6, 11, 19, 27]. Однако в результате воздействия экзогенных и эндогенных факторов механизмы адаптации не могут компенсировать постуральное равновесие, возникает «синдром постурального дефицита», что в свою очередь приводит к дисбалансу вегетативной нервной системы [15, 17, 23].

О вкладе ВНС в координацию постуральных реакций в случае нарушения вертикальной устойчивости свидетельствует ряд исследований. Так в работах иностранных коллег отмечено усиление активности симпатического отдела ВНС как следствие возникновения постуральной нестабильности,

что рассматривается авторами как индикатор участия ВНС в поддержании постурального баланса [16]. Исследования также демонстрируют вклад ВНС в обеспечение координации постуральных реакций и поддержание постуральной устойчивости [21]. Однако данных, характеризующих участие ВНС в поддержании постурального баланса у пожилых людей с учетом комплекса физиологических изменений, происходящих в данном возрасте, недостаточно и данный вопрос требует дополнительного изучения.

Целью данной работы является выявление особенностей функционирования ВНС у лиц пожилого возраста с постуральной нестабильностью.

Материалы и методы

В нашем исследовании приняли участие 120 женщин в возрасте 60-74 года. Для каждой из участниц были проведены: анкетирование для сбора анамнеза и изучения частоты падений, оценка антропометрических характеристик, анализ динамического компонента постурального баланса и вариабельности сердечного ритма. В рамках анкетирования проводился опрос о текущем состоянии здоровья, уточнялось наличие заболеваний (как острых, так и хронических), выявлялись противопоказания к проведению исследования и формировались критерии включения и исключения в исследование. К числу критериев исключения мы относили наличие в анамнезе острого нарушения мозгового кровообращения, черепно-мозговых травм, острого инфаркта миокарда, хронической сердечной недостаточности, нарушений ритма сердца выше 3-го класса по Ryan и Lown, психиатрических заболеваний, признаков старческой деменции. Все участники исследования предоставили добровольное информированное согласие на медицинские вмешательства и обработку персональных данных.

Также в рамках анкетирования уточнялись факты наличия постуральной нестабильности, под которыми мы рассматривали ситуацию, при которой происходит непреднамеренное пребывание человека на земле или на полу или другой поверхности, находящейся ниже первоначального его положения. На основании полученных данных всех участниц исследования разделили на группу исследования, сообщивших об 1 и более фактах постуральной нестабильности за последний год численностью 60 человек. Контрольную группу включила 60 женщин, не отмечавших случаев постуральной нестабильности.

Антропометрические показатели (длина и масса тела) оценивались с помощью стандартизированного инструментария с дальнейшим расчетом индекса массы тела.

В рамках оценки динамического компонента постурального баланса была проведена компьютерная стабилметрия в рамках выполнения следующих проб: «Подъем из положения сидя», «Простая ходьба», «Тандемная ходьба», «Шаг – быстрый поворот», «Шаг – перешагивание». Перед началом исследования все участницы были ознакомлены с методикой выполнения тестов путем просмотра видео инструкций и дополнительного разъяснения уточняющих вопросов, если они возникали.

Функционирование ВНС оценивали методом кардиоинтервалографии по стандартизированной методике в течение 5 минут после предварительного 10-минутного отдыха в горизонтальном положении. Для анализа использовали спектральные показатели variability сердечного ритма.

Статистический анализ полученных данных выполнялся с помощью «SPSS 27.0». Проверка распределения данных на соответствие закону нормального распределения осуществлялась с помощью критерия Шапиро-Уилка, описательная статистика случае распределения отличающегося от нормального представлена медианными значениями показателей (Me) и межквартильным размахом (Q1-Q3). Значимость различий количественных данных оценивали согласно критерию U Манна-Уитни, качественных – критерия χ^2 . Критический уровень значимости принимался при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Сформированные нами группы исследования и контроля были сопоставимы и не имели статистически значимых различий по следующим показателям: календарный возраст ($p=0,607$), длина тела ($p=0,181$), масса тела ($p=0,908$), индекс массы тела ($p=0,652$). Так, медианный возраст в группе исследования составил 65,0 (62,0-69,8) лет, а в группе контроля 65,0 (62,0-68,0) лет соответственно.

Оценка постурального баланса выявила статистически значимые различия между группами при выполнении таких проб как «Подъем из положения сидя», «Тандемная ходьба», «Шаг – быстрый поворот», «Шаг – перешагивание», при этом наибольший объем различий отмечался в пробе «Шаг – быстрый поворот» (рис. 1). Полученные результаты наглядно демонстрируют снижение качества и эффективности регуляции постурального баланса у женщин пожилого возраста с постуральной нестабильностью.

При более детальном анализе полученных результатов следует отметить, что в повседневной активности выполнение подъемов из положения сидя является одним из наиболее частых двигательных актов.

Возрастные изменения компонентов опорно-двигательного аппарата, встречающиеся у значительной части пожилых людей, в свою очередь являются факторами, лимитирующими выполнение данной пробы. Полученные результаты свидетельствуют о значимом снижении скорости колебания ЦМТ в фазе подъема.

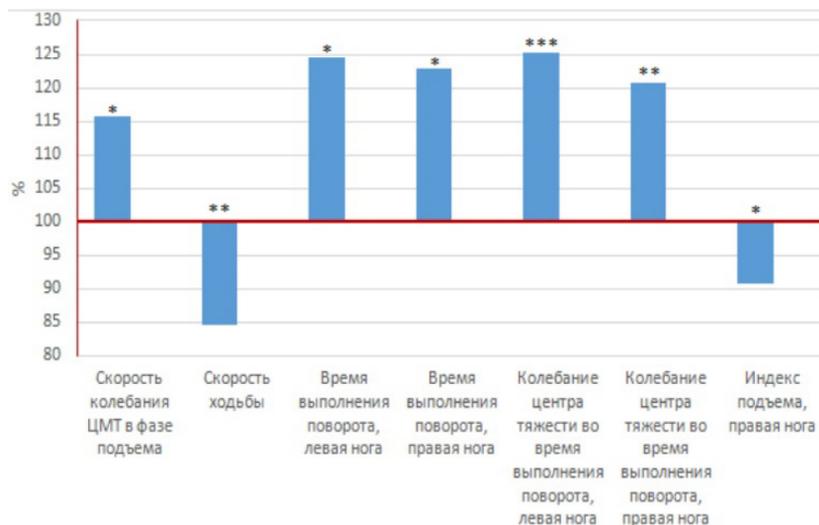


Рис. 1. Показатели динамического компонента пострального баланса у пожилых женщин с постральной нестабильностью.

Примечания: за 100 % приняты значения соответствующих показателей в контрольной группе; звездочками обозначена статистическая значимость различий показателей в исследуемой и контрольной группах * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,01$, *** – $p \leq 0,001$.

Тандемная ходьба является достаточно простым и эффективным способом оценки состояния пострального баланса и может быть использована для диагностики постральной нестабильности и синдрома падений [7, 20]. Результаты нашего исследования так же демонстрируют снижение скорости ходьбы в группе лиц с постральной нестабильностью, что свидетельствует об ухудшения управления постральным балансом в данной группе.

Наибольший объем различий выявлен при выполнении пробы «Шаг – быстрый поворот», связанной с необходимостью выполнения изменения направления движения центра тяжести без ущерба для стабильности положения тела в пространстве. Качество данной пробы в значительной степени определяется эффективностью функционирования зрительного

и вестибулярного анализаторов, подверженных значимым возрастным изменениям [26]. Таким образом, можно констатировать, что у пожилых с постуральной нестабильностью ухудшение реализации сложных двигательных актов может быть следствием снижения у них зрительной и вестибулярной информации в контроле над балансом, неэффективности стабилизации головы и тела при ходьбе, особенно при резких разворотах, дисфункции опорно-двигательного аппарата.

Проведение сравнительного анализа функционального состояния ВНС не выявило статистически значимых различий в сравниваемых группах по всем изучаемым показателям (табл. 1).

Таблица 1.

**Показатели вариабельности сердечного ритма у женщин
пожилого возраста (Ме, Q1-Q3)**

Показатель	Группа исследования	Группа контроля	P
TP (мс ²)	1720,5 (695,2-5236,1)	1334,3 (571,3-4587,0)	0,378
LF/HF (y.e.)	0,62 (0,45-1,05)	0,58(0,45-0,82)	0,264
VLF(%)	23,2 (14,7-53,8)	27,5 (15,4-41,8)	0,838
LF(%)	25,9 (20,5-30,1)	26,2 (19,6-29,9)	0,941
HF (%)	45,0 (23,4-55,6)	48,3 (32,8-56,6)	0,372

Примечание: p – уровень статистической значимости различий.

Известно, что симпатический отдел ВНС связан со срочными реакциями организма на внешние возмущающие факторы. Выполнение двигательных актов и связанное с этим изменение положение тела в пространстве может в определенной степени рассматриваться как внешний возмущающий фактор, эффективность реагирования на который опосредуется функциональным состоянием ВНС [1, 2, 22]. В работе иностранных исследователей выявлено усиление активности симпатического отдела ВНС в ситуации постуральной нестабильности, что расценивается авторами как индикатор участия ВНС в постуральном балансе [16]. При этом показано, что для группы лиц с высоким риском ситуаций постуральной нестабильности характерен высокий порог активации ВНС, что может снижать эффективность реализации постуральных реакций [9, 13, 25].

В данном исследовании мы не выявили наличие статистически значимых различий в показателях, характеризующих активность различных отделов ВНС в зависимости от фактов постуральной нестабильности. Данный факт может быть связан с рядом причин. Так в проведенных ранее исследованиях оценка вклада вегетативной регуляции в постуральный

баланс проводилась в ситуациях значительной постуральной нестабильности, однако тесты для оценки состояния постурального баланса, предлагаемые участникам нашего исследования, имитировали повседневную двигательную активность и не приводили к значительной постуральной нестабильности. Соответственно, отсутствие значимых различий в сравниваемых группах может иллюстрировать низкую вовлеченность ВНС в поддержание постурального баланса в условиях повседневной активности без сильных возмущающих воздействий. Также известно, что с возрастом происходит значительное снижение интенсивности симпатических и парасимпатических реакций [10, 12, 24]. В связи с этим в рамках данной выборки пожилых лиц, ожидаемые различия активности отделов ВНС также могли быть нивелированы её возрастными изменениями.

Заключение

Глобальный тренд к старению населения диктует всю большую необходимость детального изучения функционального состояния организма лиц пожилого возраста. В рамках исследования нами продемонстрировано наличие статистически значимого снижения качества выполнения пожилыми женщинами с постуральной нестабильностью таких тестов как «Подъем из положения сидя», «Тандемная ходьба», «Шаг – быстрый поворот», «Шаг – перешагивание». Таким образом, мы можем констатировать более низкое качество реализации сложных двигательных актов в данной группе. При этом сохранение активного долголетия в значительной степени зависит от качества постурального баланса и факторов его определяющих. Для пожилых лиц, отмечающих случаи постуральной нестабильности, крайне актуальными становятся программы реабилитации, связанные с улучшением динамического компонента постурального баланса, позволяющие в значительной степени снизить риски падений.

Вместе с этим в группе исследования по сравнению с контрольной не выявлено значимых различий в функционировании симпатического и парасимпатического отдела ВНС, что может демонстрировать незначительную роль ВНС в поддержании постурального баланса при отсутствии ситуаций постуральной нестабильности. Также отсутствие значимых различий могло быть вызвано комплексом иных факторов, таких как достаточно высокий средний возраст участниц исследования, наличия у части из них заболеваний сердечно-сосудистой системы и как следствие, приемом соответствующих лекарственных препаратов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых – кандидатов наук в рамках научного проекта № МК-4405.2022.1.4. А также при поддержке научно-образовательного центра мирового уровня «Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования».

Список литературы

1. Мелькова Л.А., Федотов Д.М. Состояние вегетативной регуляции ритма сердца при пассивном ортостазе у женщин пожилого и старческого возраста // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Медико-биологические науки. 2015. № 2. С. 44-52.
2. Писарук А. В. Количественная оценка эффективности барорефлекторной регуляции сердечного ритма при старении // Проблемы старения и долголетия. 1998. №2. С. 108–112.
3. Ширияева Т.П., Грибанов А.В., Федотов Д.М., Румянцева О.А. Оценка параметров динамического компонента постурального баланса у женщин пожилого возраста // Якутский медицинский журнал. 2020. № 4 (72). С. 27-31.
4. Ширияева Т.П., Федотов Д.М. Рекомендации по оценке динамического компонента постурального баланса у женщин пожилого возраста // Архангельск. 2020. С. 23.
5. Ширияева Т.П., Федотов Д.М., Грибанов А.В., Панков М.Н., Соколова Л.В. Возрастные изменения динамического компонента вертикальной устойчивости у женщин 60-74 лет // Успехи геронтологии. 2021. Т. 34. № 2. С. 300-305.
6. Ширияева Т.П., Федотов Д.М., Дерябина И.Н., Грибанов А.В. Ходьба и когнитивные нарушения у женщин пожилого возраста // Head and Neck / Голова и шея. Российское издание. Журнал Общероссийской общественной организации Федерации специалистов по лечению заболеваний головы и шеи. 2022. Т. 10. № S2S1. С. 40-42.
7. Ang S. G. M., O'Brien A. P., Wilson A. Carers' concern for older people falling at home: An integrative review // Singapore Medical Journal, 2020, vol. 61, pp. 272-280.
8. Bhangu J., King-Kallimanis B.L., Donoghue O. A., Carroll L., Kenny R. A. Falls non-accidental falls and syncope in community-dwelling adults aged 50 years and older: Implications for cardiovascular assessment // PLoS ONE, 2017, vol. 12, pp. e018099.
9. Catai A.M., Pastre C.M., Godoy M.F., Silva E.D., Takahashi A.C.M., Vanderlei L.C.M. Heart rate variability: are you using it properly? Standardisation checklist of procedures // Brazil Journal Physiotherapy, 2020, vol. 24, no. 2, pp. 91-102.

10. Dalise A.M., Prestano R., Fasano R., Gambardella A., Barbieri M., Rizzo M.R. Autonomic Nervous System and Cognitive Impairment in Older Patients: Evidence from Long-Term Heart Rate Variability in Real-Life Setting // *Frontiers Aging Neuroscience*, 2020, vol. 12, no. 40. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2020.00040>
11. Duray M., Genc A. The relationship between physical fitness and falling risk and fear of falling in community-dwelling elderly people with different physical activity levels // *Turkish Journal of Medical Science*, 2017, vol. 47, pp. 455-462.
12. Espinoza-salinas A., Molina-sotomayor E., Cano-montoya J., Gonzalez-jurado J. A. Is active lifestyle related to autonomic nervous system function and lipid profile in people with overweight? // *Sustainability*, 2021, vol. 12, pp. 1-11.
13. Furtado H. L., Sousa N., Simao R., Pereira F. D., Vilaca-Alves J., “Physical exercise and functional fitness in independently living vs institutionalized elderly women: A comparison of 60-to 79-year-old city dwellers” // *Clinical Interventions in Aging*, 2015, vol. 10, pp. 795-801.
14. Goh H., Ng S. C., Kamaruzzaman S. B., Chin A. V., Tan M. P. Standing beat-to-beat blood pressure variability is reduced among fallers in the Malaysian Elders Longitudinal Study // *Medicine (United States)*, 2017, vol. 96, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000008193>
15. Hu M. X., Lamers F., De Geus E. J. C., Penninx B. W. J. H. Influences of lifestyle factors on cardiac autonomic nervous system activity over time // *Preventive Medicine*, 2017, vol. 94, pp. 12-19.
16. Maki B. E., Mellroy W. E. Influence of arousal and attention on the control of postural sway // *J. Vestib. Res.*, 1996, vol. 6, pp. 53–59.
17. Nascimento R. D., Viana A., Sartori M., Zaffalon Junior J. R., Dias D. da S. et al. Sedentary lifestyle in adolescents is associated with impairment in autonomic cardiovascular modulation // *Revista Brasileira de Medicina Do Esporte*, 2019, vol. 25, pp. 191-195.
18. Pirrie M., Saini G., Angeles R., Marzanek F., Parascandalo J., Agarwal G. Risk of falls and fear of falling in older adults residing in public housing in Ontario Canada: Findings from a multisite observational study // *BMC Geriatrics*, 2020, vol. 20, pp. 1-8.
19. Shahimi N. H., Goh C. -H., Tan M. P., Lim E. Association between Physical Performance and Autonomic Nervous System in Elderly Fallers // 2021 IEEE National Biomedical Engineering Conference (NBEC), 2021, pp. 131-135.
20. Shahril N., Shahein N. A., Yoep N., Mahmud N. A., Sooryanarayana R., Tan M. P. et al. Prevalence and factors associated with falls among older persons in Malaysia // *Geriatrics & Gerontology International*, 2020, vol. 20, pp. 33-37.

21. Sibley K. M., Mochizuki G., Lakhani B., McIlroy W. E. Autonomic contributions in postural control, a review of the evidence // *Rev. Neurosci*, 2014, vol. 25, pp. 687–697.
22. Soares-Miranda L., Sattelmair J., Chaves P., Duncan G. E., Siscovick D. S., Stein P. K., et al. Physical activity and heart rate variability in older adults: The cardiovascular health study // *Circulation*, 2014, vol. 129, pp. 2100-2110.
23. Takeda J. R. T., Matos T. M., de Souza-Talarico J. N. Cardiovascular risk factors and cognitive performance in aging // *Dement. Neuropsychology*, 2017, vol. 11, pp. 442–448. <https://doi.org/10.1590/1980-57642016dn11-040015>
24. Tebar W. R., Ritti-Dias R. M., Mota J., Farah B. Q., Saraiva B. T. C., Damato T. M. M., et al. Relationship between domains of physical activity and cardiac autonomic modulation in adults: a cross-sectional study // *Scientific Reports*, 2020, vol. 10, pp. 1-7.
25. Terroba-Chambi C., Bruno V., Vigo D. E., Merello M. Heart rate variability and falls in Huntington's disease // *Clinical Autonomic Research*, 2020, vol. 2, pp. 1-12.
26. Tonello L., Rodrigues F. B., Souza J. W. S., Campbell C. S. G., Leicht A. S., Boullosa D. A. The role of physical activity and heart rate variability for the control of work-related stress // *Frontiers in Physiology*, 2014, vol. 5, pp. 1-9.
27. Tornberg J., Ikaheimo T. M., Kiviniemi A., Pyky R., Hautala A., Mantysaari M., et al. Physical activity is associated with cardiac autonomic function in adolescent men // *PLoS ONE*, 2019, vol. 14, pp. 1-10.

References

1. Mel'kova L.A., Fedotov D.M. Sostoyanie vegetativnoj regulyacii ritma serdca pri passivnom ortostaze u zhenshchin pozhilogo i starcheskogo vozrasta [The state of autonomic regulation of the heart rhythm in passive orthostasis in women of elderly and senile age]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seriya: Mediko-biologicheskie nauki* [Bulletin of the Northern (Arctic) Federal University. Series: Biomedical Sciences], 2015, no. 2, pp. 44-52.
2. Pisaruk A. V. Kolichestvennaya ocenka effektivnosti barorefleksionnoy regulyacii serdechnogo ritma pri starenii [Quantitative assessment of the effectiveness of baroreflex regulation of heart rate during aging]. *Problemy stareniya i dolgoletiya* [Problems of Aging and Longevity], 1998. vol. 2, pp. 108–112.
3. SHiryaeva T.P., Griбанov A.V., Fedotov D.M., Rummyanceva O.A. Ocenka parametrov dinamicheskogo komponenta postural'nogo balansa u zhenshchin pozhilogo vozrasta [Estimation of the parameters of the dynamic component of postural balance in elderly women]. *Yakutskij medicinskij zhurnal* [Yakut medical journal], 2020, no. 4 (72), pp. 27-31.

4. SHiryayeva T.P., Fedotov D.M. *Rekomendacii po ocenke dinamicheskogo komponenta postural'nogo balansa u zhenshchin pozhilogo vozrasta* [Recommendations for assessing the dynamic component of postural balance in elderly women]. Arhangel'sk, 2020, p. 23.
5. SHiryayeva T.P., Fedotov D.M., Griбанov A.V., Pankov M.N., Sokolova L.V. *Vozrastnye izmeneniya dinamicheskogo komponenta vertikal'noj ustojchivosti u zhenshchin 60-74 let* [Age-related changes in the dynamic component of vertical stability in women aged 60-74]. *Uspekhi gerontologii* [Advantages in Gerontology], 2021, vol. 34, no. 2, pp. 300-305.
6. SHiryayeva T.P., Fedotov D.M., Deryabina I.N., Griбанov A.V. *Hod'ba i kognitivnye narusheniya u zhenshchin pozhilogo vozrasta* [Walking and cognitive impairment in older women]. *Golova i sheya. Rossijskoe izdanie. ZHurnal Obshcherossijskoj obshchestvennoj organizacii Federaciiya specialistov po lecheniyu zabolevanij golovy i shei* [Head and Neck. Russian edition. Journal of the All-Russian Public Organization Federation of Specialists in the Treatment of Head and Neck Diseases], 2022, vol. 10, no. S2S1, pp. 40-42.
7. Ang S. G. M., O'Brien A. P., Wilson A. Carers' concern for older people falling at home: An integrative review. *Singapore Medical Journal*, 2020, vol. 61, pp. 272-280.
8. Bhangu J., King-Kallimanis B.L., Donoghue O. A., Carroll L., Kenny R. A. Falls non-accidental falls and syncope in community-dwelling adults aged 50 years and older: Implications for cardiovascular assessment. *PLoS ONE*, 2017, vol. 12, pp. e018099.
9. Catai A.M., Pastre C.M., Godoy M.F., Silva E.D., Takahashi A.C.M., Vanderlei L.C.M. Heart rate variability: are you using it properly? Standardisation checklist of procedures. *Brazil Journal Physiotherapy*, 2020, vol. 24, no. 2, pp. 91-102.
10. Dalise A.M., Prestano R., Fasano R., Gambardella A., Barbieri M., Rizzo M.R. Autonomic Nervous System and Cognitive Impairment in Older Patients: Evidence from Long-Term Heart Rate Variability in Real-Life Setting. *Frontiers Aging Neuroscience*, 2020, vol. 12, no. 40. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2020.00040>
11. Duray M., Genc A. The relationship between physical fitness and falling risk and fear of falling in community-dwelling elderly people with different physical activity levels. *Turkish Journal of Medical Science*, 2017, vol. 47, pp. 455-462.
12. Espinoza-salinas A., Molina-sotomayor E., Cano-montoya J., Gonzalez-jurado J. A. Is active lifestyle related to autonomic nervous system function and lipid profile in people with overweight? *Sustainability*, 2021, vol. 12, pp. 1-11.
13. Furtado H. L., Sousa N., Simao R., Pereira F. D., Vilaca-Alves J., "Physical exercise and functional fitness in independently living vs institutionalized elderly

- women: A comparison of 60-to 79-year-old city dwellers". *Clinical Interventions in Aging*, 2015, vol. 10, pp. 795-801.
14. Goh H., Ng S. C., Kamaruzzaman S. B., Chin A. V., Tan M. P. Standing beat-to-beat blood pressure variability is reduced among fallers in the Malaysian Elders Longitudinal Study. *Medicine (United States)*, 2017, vol. 96, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000008193>
 15. Hu M. X., Lamers F., De Geus E. J. C., Penninx B. W. J. H. Influences of lifestyle factors on cardiac autonomic nervous system activity over time. *Preventive Medicine*, 2017, vol. 94, pp. 12-19.
 16. Maki B. E., McIlroy W. E. Influence of arousal and attention on the control of postural sway. *J. Vestib. Res.*, 1996, vol. 6, pp. 53-59.
 17. Nascimento R. D., Viana A., Sartori M., Zaffalon Junior J. R., Dias D. da S. et al. Sedentary lifestyle in adolescents is associated with impairment in autonomic cardiovascular modulation. *Revista Brasileira de Medicina Do Esporte*, 2019, vol. 25, pp. 191-195.
 18. Pirrie M., Saini G., Angeles R., Marzanek F., Parascandolo J., Agarwal G. Risk of falls and fear of falling in older adults residing in public housing in Ontario Canada: Findings from a multisite observational study. *BMC Geriatrics*, 2020, vol. 20, pp. 1-8.
 19. Shahimi N. H., Goh C. -H., Tan M. P., Lim E. Association between Physical Performance and Autonomic Nervous System in Elderly Fallers. *2021 IEEE National Biomedical Engineering Conference (NBEC)*, 2021, pp. 131-135.
 20. Shahril N., Shahein N. A., Yoep N., Mahmud N. A., Sooryanarayana R., Tan M. P. et al. Prevalence and factors associated with falls among older persons in Malaysia. *Geriatrics & Gerontology International*, 2020, vol. 20, pp. 33-37.
 21. Sibley K. M., Mochizuki G., Lakhani B., McIlroy W. E. Autonomic contributions in postural control, a review of the evidence. *Rev. Neurosci*, 2014, vol. 25, pp. 687-697.
 22. Soares-Miranda L., Sattelmair J., Chaves P., Duncan G. E., Siscovick D. S., Stein P. K., et al. Physical activity and heart rate variability in older adults: The cardiovascular health study. *Circulation*, 2014, vol. 129, pp. 2100-2110.
 23. Takeda J. R. T., Matos T. M., de Souza-Talarico J. N. Cardiovascular risk factors and cognitive performance in aging. *Dement. Neuropsychology*, 2017, vol. 11, pp. 442-448. <https://doi.org/10.1590/1980-57642016dn11-040015>
 24. Tebar W. R., Ritti-Dias R. M., Mota J., Farah B. Q., Saraiva B. T. C., Damato T. M. M., et al. Relationship between domains of physical activity and cardi-

- ac autonomic modulation in adults: a cross-sectional study. *Scientific Reports*, 2020, vol. 10, pp. 1-7.
25. Terroba-Chambi C., Bruno V., Vigo D. E., Merello M. Heart rate variability and falls in Huntington's disease. *Clinical Autonomic Research*, 2020, vol. 2, pp. 1-12.
26. Tonello L., Rodrigues F. B., Souza J. W. S., Campbell C. S. G., Leicht A. S., Boullosa D. A. The role of physical activity and heart rate variability for the control of work-related stress. *Frontiers in Physiology*, 2014, vol. 5, pp. 1-9.
27. Tornberg J., Ikaheimo T. M., Kiviniemi A., Pyky R., Hautala A., Mantysaari M., et al. Physical activity is associated with cardiac autonomic function in adolescent men. *PLoS ONE*, 2019, vol. 14, pp. 1-10.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Ширяева Тансия Петровна, канд. биол. наук, доцент кафедры биологии человека и биотехнических наук высшей школы естественных наук и технологий

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»
ул. Набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163000, Российская Федерация
t.shiryayeva@narfu.ru

Федотов Денис Михайлович, канд. мед. наук, доцент кафедры гигиены и медицинской экологии; доцент кафедры техносферной безопасности высшей инженерной школы

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северный государственный медицинский университет»; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» пр. Троицкий, 51, г. Архангельск, 163000, Российская Федерация; ул. Набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163000, Российская Федерация
doctorpro@yandex.ru

Крайнова Ирина Николаевна, канд. мед. наук, зам. главного врача по медицинской части

*Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Архангельской области «Архангельская областная детская клиническая больница им. П.Г. Выжлецова»
пр-т Обводный канал, 7, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация
vitpost1982@yandex.ru*

Рамирез Наварро Франциско, магистр геологических наук, доцент кафедры геологии и минералогии отдела металлургии и материаловедения

*Технический университет Федерико Санта Марии
Викунья Маккена 3939, Сан-Хоакин, Чили
Francisco.ramirez@usm.cl*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Taisiya P. Shiryaeva, PhD (Physiology), Assistant Professor of The Department of Human Biology and Biotechnical Systems of The High School of Natural Science and Technologies

*Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov
17, Northern Dvina Emb., Arkhangelsk, 163000, Russian Federation
t.shiryaeva@narfu.ru*

SPIN-code: 6330-0832

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9458-3224>.

Researcher ID: GQY-7167-2022

Scopus Author ID: 57216510041

Fedotov D.M., PhD (Medicine), Assistant Professor of The Department of Hygiene and Medical Ecology; Assistant Professor of the Department of The Technosphere Security of The High Engineering School

Northern Federal Medical University; Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

51, Troitskiy ave., Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; 17, Northern Dvina Emb., Arkhangelsk, 163000, Russian Federation

Doctorpro@yandex.ru

SPIN-code: 1209-7657

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4067-8364>.

Researcher ID: P-7928-2016

Scopus Author ID: 57045772600

Krainova I.N., PhD (Medicine), MD

Arkhangelsk Regional Children's Clinical Hospital named after P.G. Vyzhletsov

7, Obvodniy ave., Arkhangelsk, 163000, Russian Federation

SPIN-code: 9444-9816

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4509-7734>

Ramirez Navarro F., MSc (Geology), Assistant Professor of Geology and Mineralogy of The Department of Metallurgy and Materials Engineering

Technical University Federico Santa Maria

Vicuna Mackenna 3939, San Joaquin, Metropolitan Region, Chile

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7217-470X>

Researcher ID: GRJ-9210-2022

Поступила 25.09.2022

После рецензирования 10.10.2022

Принята 30.10.2022

Received 25.09.2022

Revised 10.10.2022

Accepted 30.10.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-74-91

УДК 595.772: 591.61



Научная статья | Насекомые

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СЕЛЕКЦИОННОЙ РАБОТЫ С НАСЕКОМЫМИ ВИДА *HERMETIA ILLUCENS*

*Г.В. Песцов, О.В. Прокудина,
А.В. Третьякова, С.А. Бутенко*

Обоснование. Насекомое вида *Hermetia illucens* (чёрная львинка), широко используется для утилизации пищевых и сельскохозяйственных отходов. Это связано с всеядностью мухи по отношению к белковой и углеводной пище и быстрым репродуктивным циклом. Большой проблемой промышленного культивирования этого насекомого является вырождение популяций черной львинки.

При размножении в неволе из-за относительно малой численности популяций происходит деградация ключевых параметров культуры *H. illucens*, таких как жизнеспособность, плодовитость, продуктивность и др. Замечено, что в течение первых пяти поколений, несмотря на полигамию при скрещивании, проявляется действие вредных рецессивных аллелей, находящихся в гомозиготном состоянии.

В настоящее время проблема вырождения мух, связанная с инбредной депрессией, решается массовым культивированием больших аутбредных популяций в садках, с периодической реинтродукцией производителей из природных популяций.

Цель. Разработка метода скрещивания линий мух *Hermetia illucens* для селекционной работы, определения закономерностей развития популяций, увеличения их продуктивности и адаптационного потенциала.

Материалы и методы. В селекционной работе с линиями насекомого вида *H. illucens* использовали индивидуальное скрещивание. Для индивидуального скрещивания подбирали личинок и куколок по размерам и массе тела. Скрещивания проводили по схеме: одного самца и одну самку помещали в пластиковые контейнеры при поддержании необходимой температуры и влажности. Яйца, полученные от этой пары мух, помещали на питательный субстрат в

отдельный контейнер, вылупившихся личинок культивировали изолированно в этом же контейнере.

В процессе роста, отбирали самых крупных личинок и куколок из этой популяции. После формирования взрослых особей (имаго) мух, их осматривали, определяли половую принадлежность и помещали опять одного самца и одну самку в отдельный контейнер. Таким образом, получали инбредные линии изофеминных потомков одной самки, в дальнейшем подвергаемых инбридингу мух.

Результаты. Разработанный нами метод индивидуального скрещивания позволил проследить развитие популяций мух, полученных от одной самки и одного самца, рассмотреть происходящие закономерности и изменения в популяции. Определена тенденция вырождения популяции мух при близкородственном скрещивании, в каждом последующем поколении оплодотворённых яиц и личинок было меньше. Это связано с тем, что проявляют своё действие летальные гены. Последующие отборы в каждом поколении самых крупных и активных личинок позволят создать популяцию, лишённую большинства летальных и вредных генов и перейти к чистым линиям.

Заключение. В результате проведённой научно-исследовательской работы удалось разработать метод индивидуального скрещивания самцов и самок насекомого *Hermetia illucens*. Было определено, что время отрождения максимального количества личинок происходит на 3-4 суток после откладки яиц. При близкородственном скрещивании определена тенденция вырождения популяции мух, в каждом последующем поколении оплодотворённых яиц и личинок было меньше. Это связано с тем, что проявляют своё действие летальные гены. Последующие отборы в каждом поколении самых крупных и активных личинок позволят создать популяцию, лишённую большинства летальных и вредных генов. Чистые линии мух обладают стабильными признаками для данного вида и, несмотря на снижение количества оплодотворённых яиц в кладках, а также меньшее количество личинок, полученных из них, они обладают нормальным распределением размера и массы тела, что позволяет вести отбор на хозяйственно ценные признаки.

Ключевые слова: чистые линии; индивидуальное скрещивание; *Hermetia illucens*; инбридинг; инбредное угнетение; вырождение; чёрная львинка

Для цитирования. Песцов Г.В., Прокудина О.В., Третьякова А.В., Бутенко С.А. Разработка методов селекционной работы с насекомыми вида *Hermetia illucens* // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №2. С. 74-91. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-74-91

DEVELOPMENT OF METHODS OF BREEDING WORK WITH INSECTS OF THE SPECIES *HERMETIA ILLUCENS*

**G.V. Pestsov, O.V. Prokudina,
A.V. Tretyakova, S.A. Butenko**

Background. The insect *Hermetia illucens* (black soldier fly), is widely used for the disposal of food and agricultural waste. This is due to the omnivorous nature of the fly in relation to protein and carbohydrate foods and a fast reproductive cycle. The big problem of industrial cultivation of this insect is the degeneration of populations of the black soldier fly. When bred in captivity, due to the relatively small number of population, the degradation of key parameters, such as viability, fertility, productivity, etc. of *H. illucens* culture occurs. It is noted that during the first five generations, despite polygamy during crossing, the effect of harmful recessive alleles in a homozygous state manifests itself. Currently, the problem of degeneration of flies associated with inbred depression is solved by mass cultivation of large outbred populations in cages, with periodic reintroduction of producers from natural populations.

Purpose. Development of a method for crossing lines of *Hermetia illucens* flies for breeding, determining patterns of population development, as well as increasing their productivity and adaptive potential.

Materials and Methods. In selection work with the lines of the insect species *H. illucens*, individual crossing was used. Individual selections were made by selecting larvae and pupae by size and body weight. The crosses were carried out according to the scheme: one male and one female were placed in plastic containers while maintaining the required temperature and humidity. Eggs obtained from this pair of flies were placed on a nutrient substrate in a separate container, hatched larvae were cultured in isolation in the same container. During the growth process, the largest larvae and pupae from this population were selected. After the formation of adult individuals (images) of flies, they were examined, their sex was determined and again one male and one female were placed in a separate container. Thus, inbred lines of isofemale (descendants of one female) flies were obtained.

Results. We developed the method of individual crossing made it possible to trace the development of populations of flies obtained from one female and one male, to consider the patterns and changes in the population. The tendency of

the degeneration of the fly population in inbred crosses was determined, in each subsequent generation there were fewer fertilized eggs and larvae. This is due to the fact that recessive lethal genes become homozygous and manifest their effect. Subsequent selections in each generation of the largest and most active larvae will create a population devoid of most lethal and harmful genes.

Conclusions. *As a result of the research work carried out, it was possible to develop a method of individual crossing of males and females of the insect *Hermetia illucens*. It was determined that the time from oviposition onset to the maximum number of larvae occurs on 3-4th day after egg laying. With the crossing of close relatives, the tendency of the degeneration of the fly population was determined, in each subsequent generation there were fewer fertilized eggs and larvae. This is due to the manifestation of recessive lethals. Subsequent selections in each generation of the largest and most active larvae will create a population devoid of most lethal and harmful genes. Populations of inbred flies have stable characteristics for this species and, despite a decrease in the number of fertilized eggs in clutches, as well as a smaller number of larvae obtained from them, they have normal distribution of size and body weight, which allows selection for economically valuable traits.*

Keywords: *pure lines; outbred crossing; *Hermetia illucens* inbreeding; inbred depression; degeneration; black soldier fly*

For citation. *Pestsov G.V., Prokudina O.V., Tretyakova A.V., Butenko S.A. Development of methods of breeding work with insects of the species *Hermetia illucens*. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 74-91. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-74-91*

В условиях роста численности населения, глобального изменения климата и сокращения природных ресурсов потребность в устойчивых сельскохозяйственных системах очевидна. Доказано, что разведение насекомых является экологически чистой альтернативой традиционному животноводству [6].

Вид мухи – *Hermetia illucens* (чёрная львинка) является эндемичным видом мух из тропических, субтропических умеренно тёплых зон Америки. Насекомое относится к числу немногих видов беспозвоночных, способных круглогодично развиваться в чистой культуре в замкнутом пространстве искусственных условий, что позволяет использовать вид в биотехнологических целях вне зависимости от климатических условий [3]. В наши дни биотехнология, как перспективное направление науки, связанное с разведением разных живых организмов в производственных условиях, имеет огромное экологическое и биологическое значение [1]. Вид

H. illucens представляет большой интерес, поскольку личинки данного насекомого способны к высокоэффективной биоконверсии целого спектра органических отходов [17, 18]. Личинки и предкуколки чёрной львинки содержат около 40% протеина, 30% жира, хитин составляет 5-7%, обогащены кальцием, фосфором. В составе жирных кислот 50% приходится на лауриновую кислоту. Питаясь практически любыми отходами биологического происхождения, личинки чёрной львинки активно набирают свою массу, что даёт возможность получения качественного белкового продукта для производства кормов [2, 4, 16].

В результате утилизации органических отходов сельскохозяйственного производства личинками насекомого *H. illucens* они превращаются в однородную компостированную массу (зоогумус) с повышенным содержанием азота, фосфора, калия и микроэлементов, которую можно использовать в качестве органического удобрения или улучшателя почвы. В отличие от других методов утилизации отходов, таких как сжигание, компостирование, высушивание, высокотемпературная ферментация, данный способ биоконверсии является экологически безопасным, а его реализация не требует больших материальных затрат. В настоящее время во многих странах Америки, Европы, Азиатского региона, Африки, Новой Зеландии и Австралии отмечается повышенный интерес к такому насекомому в связи с возможностью их массового разведения в искусственных условиях и использования в кормах для сельскохозяйственных животных, птицы и рыбы [7, 8, 15].

Полный цикл жизни насекомого вида *H. illucens* (от яиц до имаго) занимает порядка одного-двух месяцев. Для разведения чёрной львинки необходима постоянная температура (22-29°C), влажность (70-80%) и достаточная освещённость [9, 13].

Жизненный цикл мух *Hermetia illucens* включает в себя несколько фаз развития [5]. После вылупления мух из куколок, взрослые особи спариваются на третий день жизни и через несколько дней самка откладывает во влажный, содержащий органические вещества субстрат от 300 до 1000 яиц. Через несколько дней из них вылупляются личинки насекомого, размером 1-2 мм, которые интенсивно усваивают органический субстрат, растут и развиваются в течение 14-20 суток, достигая 30 мм в длину, до 6 мм в ширину и веса 300-350 мг. Когда личинки достигают финальной стадии развития, они превращаются в предкуколок, затем находят сухое и тёмное место, превращаются в куколки, из которых впоследствии выводятся взрослые особи мух и жизненный цикл повторяется. Продолжительность каждой фазы

сильно зависит от условий окружающей среды (температуры, влажности и освещённости). Ключевой фазой биотехнологического производства является развитие личинок, когда они перерабатывают органические отходы и нарабатывают биомассу. Пищевая ценность личинок, соотношение белков и жиров зависит от субстрата, на котором они выращивались. На субстратах с повышенным количеством белка и углеводов набор биомассы личинками происходит быстрее и эффективнее [14, 19, 20].

Цель работы

Разработка метода индивидуального скрещивания линий мух *Hermetia illucens* для селекционной работы, определения закономерностей развития популяций, увеличения их продуктивности и адаптационного потенциала.

Научная новизна

Насекомое *Hermetia illucens* относится к числу немногих видов беспозвоночных, способных круглогодично развиваться в чистой культуре в замкнутом пространстве и искусственных условиях, что позволяет использовать этот вид в биотехнологических целях. Поэтому чёрную львинку возможно разводить в регионах и с холодными климатическими условиями. Широкую популярность насекомое *H. illucens* получило за счёт высокоэффективной био конверсии различных твёрдых органических отходов, а также высокой питательной ценности личинок, которые можно использовать в качестве добавок к корму сельскохозяйственных животных и аквакультуры. Одной из актуальных проблем при промышленном культивировании этого насекомого является снижение плодовитости и продуктивности популяций *H. illucens* вследствие накопления вредных рецессивных аллелей, находящихся в гомозиготном состоянии (инбредная депрессия) [10].

Замечено, что в течение первых пяти поколений, несмотря на полигамию при скрещивании, проявляется действие вредных рецессивных аллелей, находящихся в гомозиготном состоянии. В настоящее время проблема вырождения мух, связанная с инбредной депрессией, решается массовым культивированием больших аутбредных популяций в садках, с периодической реинтродукцией производителей из природных популяций [11].

Выведение инбредных (чистых) линий мух, позволит добиться генетической однородности и сохранения постоянства популяции, так как при близкородственном скрещивании происходит элиминация вредных и летальных генов. Также важно проводить постоянный индивидуальный искусственный

отбор по хозяйственно ценным признакам (размеры личинок, скорость роста и т.д.) с целью их закрепления в потомстве. Такая работа с популяцией, и передача из поколения в поколение определённых качеств и свойств даст возможность стабилизировать проявление хозяйственно ценных признаков и повысить продуктивность личинок насекомого вида *H. illucens*. Таким образом, индивидуальный отбор, скрещивание, выведение чистых линий чёрной львинки и дальнейшая селекционная работа с ними даст возможность получить линии насекомого с заданными свойствами [12].

Материалы и методы исследования

Научно-исследовательская работа проводилась в микробиологической лаборатории Центра технологического превосходства «Передовые химические и биотехнологии», лабораториях кафедры биологии и технологий живых систем, факультета естественных наук Тульского государственного педагогического университета им. Л. Н. Толстого и Инсектарии ООО «Львинка». Объектом исследования были линии насекомого *H. illucens*.

В селекционной работе над линиями насекомого вида *Hermetia illucens* использовали индивидуальное неродственное (аутбредное) и близкородственное (инбредное) скрещивание. Индивидуальный отбор совершали путём подбора личинок и куколок по размерам и массе тела. Скрещивания проводили по схеме: одного самца и одну самку помещали в пластиковые контейнеры объёмом 2 л и 5 л, в которых поддерживали необходимую температуру и влажность. В первом поколении отобрали три пары мух, а в последующих поколениях из потомков каждой пары отбирали по 8 пар от одних родителей и спаривали их. В контейнеры помещали поилки с водой и приспособления для откладки яиц, состоящие из полос (3х6 см) гофрированного картона, который проверяли каждый день на наличие там отложенных мухами яиц. Яйца, полученные от этой пары мух, помещали на питательный субстрат на основе комбикорма в отдельный контейнер, вылупившихся личинок культивировали изолированно в этом же контейнере, фиксировали вылупление, рост и развитие личинок, ежедневно добавляли новый корм. В процессе роста личинок, отбирали самых крупных личинок, отмечали переход личинок в фазу предкуколки и куколки и затем отбирали самые крупные предкуколки и куколки из этой же популяции.

Куколки помещали в контейнеры объёмом 5 л и ждали появления из них новых взрослых особей, отбирали самку и самца, которых затем помещали в отдельные контейнеры для получения яиц и возобновления цикла воспроизводства мух. После формирования взрослых особей (имаго) мух,

их осматривали, определяли половую принадлежность и снова помещали одного самца и одну самку в отдельный контейнер. Таким образом, получали линии изофеминных инбредных (потомков одной самки) мух.

Спаривание мух происходило при 28°C. Для повышения адаптационного потенциала яйца и личинки содержали при температуре 22°C. Отмечали у различных пар количество яиц в кладке, количество личинок и их развитие.

Затем брали 1 г яиц и на протяжении 7 суток следили за количеством вылупившихся личинок, отмечая на какой день сколько штук личинок появилось.

На 6-е сутки после вылупления личинок отбирали по размеру и массе: изначальная гетерогенная популяция (Mix), мелкие, средние, крупные. Затем из каждого ящика брали пробу по 100 штук личинок в восьмикратной повторности, каждую пробу промывали от субстрата, поверхностно высушивали и взвешивали. После этого личинок высушивали в сушильном шкафу при температуре 95-100°C и определяли среднюю массу высушенных личинок в повторностях. В качестве корма использовали субстрат на основе комбикорма. Учёт массы проводили на 6-е и 9-е сутки.

Результаты исследования и их обсуждение

Известно, что при близкородственном скрещивании вероятность проявления летальных генов велика, но, наряду с этим, могут появляться особи с явно фенотипически проявляемыми хозяйственно ценными признаками, которые вследствие меньшего влияния других генов, можно будет закрепить в последующих поколениях. В эксперименте фиксировали количество яиц в кладке и количество вылупившихся личинок. Отбор проводили, выбирая самые крупные жизнеспособные особи, которые затем использовали для получения, следующего поколения мух. Из выбранных личинок получали предкуколки и куколки, а затем и имаго, которые помещали в отдельные контейнеры и добивались индивидуального спаривания одной самки и одного самца из каждой линии. Всего было проанализировано три поколения мух, а также количество и жизнеспособность яиц (табл. 1).

Из таблицы 1 видно, что среднее количество яиц в кладке и вылупившихся личинок было больше у пары 1, что свидетельствует о возможном наследственном характере этого признака. Количество личинок во всех случаях было меньше, чем количество яиц, значит, не все яйца были оплодотворены. Также видна тенденция вырождения популяции мух при близкородственном скрещивании, в каждом последующем поколе-

нии оплодотворенных яиц и личинок было меньше, а также уменьшалась средняя масса личинок. Это связано с тем, что проявляют своё действие летальные гены. Последующие отборы в каждом поколении самых крупных и активных личинок позволяют создать линию, лишённую большинства летальных и вредных генов.

Таблица 1.

**Характеристики развития потомства насекомого *H. illucens*
при получении инбредных линий**

№ пары мух	Среднее количество яиц в кладке	Среднее количество личинок в выводке	Средняя масса 100 личинок на 9 сутки, г
1-е (аутбредное) поколение			
1	449,7 ± 37,64	358,2 ± 22,21	28,1 ± 1,55
2	348,1 ± 20,98	280,0 ± 10,86	26,7 ± 0,78
3	277,5 ± 22,55	214,6 ± 13,41	27,0 ± 1,43
2-е (инбредное) поколение			
1	325,4 ± 20,55	261,9 ± 22,41	26,7 ± 1,93
2	290,4 ± 22,27	223,0 ± 19,42	24,0 ± 1,71
3	220,7 ± 16,50	152,0 ± 12,86	22,8 ± 1,07
3-е (инбредное) поколение			
1	275,6 ± 21,98	212,7 ± 18,78	25,9 ± 1,55
2	179,7 ± 14,78	140,5 ± 11,43	21,9 ± 1,89
3	111,4 ± 10,27	55,5 ± 3,14	19,1 ± 1,55

Для селекционного процесса чистых линий насекомого *H. illucens* крайне важно знать, когда, на какие сутки после откладки яиц происходит массовое отрождение личинок, так как в дальнейшем это может быть связано с рентабельностью производства при использовании биотехнологии утилизации органических отходов.

В результате проведённой научно-исследовательской работы было установлено, что личинки вылупляются из яиц неравномерно (рис. 1)

На вторые сутки в среднем вылуплялось 34,4 шт. личинок, максимального количества вылупившиеся личинки достигали на третьи сутки (в среднем, 470,1 шт.), затем, в течение суток, количество вновь появившихся личинок несколько уменьшалось (443,5 шт.), а в течение последующих двух суток наблюдали резкое снижение количества вылупившихся личинок, на пятые сутки 13,2 шт., а на шестые только 4,4 шт. Анализируя представленные данные можно сказать, что оптимальным сроком получе-

ния максимального количества личинок являются 3-и и 4-е сутки, дальнейшее ожидание и использование инкубатора для вылупления личинок значительно снижает рентабельность их производства, эти данные служат обоснованием для построения технологического регламента для максимального воспроизводства популяции изофеминных линий насекомого *H. illucens* при минимальных затратах.



Рис. 1. Динамика вылупления личинок насекомого вида *Hermetia illucens* из 1 г яиц.

В результате изучения развития потомства личинок насекомого *H. illucens*, полученных от самых крупных особей, было обнаружено, что у личинок, вылупившихся из однодневной кладки на 4-й день культивирования размеры варьируют от 3 мм до 9 мм и наблюдается следующее распределение: крупные личинки составляют 15%, мелкие личинки 25% и личинки среднего размера 60%. Для понимания тенденций развития крупных, средних и мелких особей при дальнейшем культивировании личинок, полученной от одних родителей, каждую фракцию личинок отбирали по размерам и культивировали отдельно. Взвешивание живых и сушёных особей проводили на 6-е и 9-е сутки (табл. 2).

В результате эксперимента было установлено, что линия личинок насекомого *H. illucens*, полученная в результате инбридинга, обладает нормальными массовыми параметрами, характерными для данного вида насекомого в соответствии с исследуемыми временными диапазонами. В

популяции наблюдается распределение личинок на крупные (15%), средние (60%) и мелкие (25%).

Таблица 2.

**Распределение массы живых и высушенных личинок
в популяции насекомого *H. illucens***

Личинки	Средняя масса 250 шт. личинок, г			
	6 суток		9 суток	
	живые	высушенные	живые	высушенные
Міх (контроль)	31,6 ± 3,52	9,7 ± 0,70	56,8 ± 5,21	19,0 ± 1,90
Мелкие	24,5 ± 2,57	7,7 ± 0,79	45,5 ± 5,43	16,4 ± 1,12
Средние	31,5 ± 3,25	9,7 ± 0,70	57,5 ± 5,43	19,1 ± 1,55
Крупные	37,9 ± 3,55	11,1 ± 1,27	62,23 ± 4,39	22,9 ± 1,84

Если взять каждую фракцию личинок и культивировать отдельно, то произойдет такое же распределение по размерам. Из чего следует, что данное распределение запрограммировано и необходимо для нормального функционирования популяции в целом. Причем в популяциях как средних, так и мелких личинок появляются крупные особи, которые по своим размерам догоняют крупных личинок. Такое повторяющееся в поколениях околонормальное распределение размеров указывает на значительную гомогенность популяции относительно генов размера личинок. Однако суммарная масса популяции личинок, отобранных как изначально крупные была выше и достигала на 9-е сутки живых 62,23 г, а сухих 22,9 г, при средней массе 57% и 31,5 г соответственно. Обратное, т.е. уменьшение средней живой (до 45,5 г.) и сухой (до 16,4 г.) массы характерно для потомства мелких личинок. Это свидетельствует о целесообразности отбора и возможном закреплении признаков массы в потомстве.

Заключение

В результате проведенной научно-исследовательской работы разработан метод индивидуального скрещивания самцов и самок насекомого *Hermetia illucens*. Было определено, что время отрождения максимального количества личинок приходится на 3-4 сутки после откладки яиц. При близкородственном скрещивании определена тенденция вырождения популяции мух, в каждом последующем поколении оплодотворенных яиц и личинок было меньше. Это связано с тем, что проявляют своё действие рецессивные летальные гены, переходящие при инбридинге в гомозиготное состояние. Последующий отбор в каждом поколении самых крупных и массивных ли-

чинок позволят создать популяцию, лишённую большинства летальных и вредных генов. Популяции выведенных мух обладают стабильными признаками для данного вида и, несмотря на снижение количества оплодотворенных яиц в кладках, а также меньшее количество личинок, полученных из них, они обладают нормальным распределением размера и массы тела, что облегчает отбор на хозяйственно ценные признаки.

*Исследование выполнено в рамках гранта правительства Тульской области в сфере науки и техники 2021 года «Биотехнологическая утилизация органических отходов при помощи личинок насекомого *Hermetia illucens* (черная львинка) и получение новых продуктов» по договору №ДС/263 от 25.10.2021 г.*

Список литературы

1. Антонов А. М., Lutovinovas E., Иванов Г. А., Пастухова Н. О. Адаптация и перспективы разведения мухи Черная львинка (*Hermetia illucens*) в циркулярном регионе // Принципы экологии. 2017. Т. 6, № 3. С. 4-19.
2. Бастраков А.И., Загоринский А.А., Козлова А.А. Высокоэффективная биоконверсия органических субстратов личинками Черной львинки (*Hermetia illucens*) // Биотехнология и качество жизни: материалы Международной науч.-практ. конф. Казань, 2014, С. 418-419.
3. Бастраков А.И. Ушакова Н.А. Переработка птичьей пометной подстилки личинками Черной львинки (*Hermetia illucens*) // Биотехнология: состояние и перспективы развития: материалы VIII Московского Межд. Конгресса. М.: ЗАО «Экспо-биохим-технологии», РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2015, С. 350-351.
4. Некрасов Р.В., Ушакова Н.А., Чабаев М.Г. Личинки мухи Черный солдат (*Hermetia illucens*) в питании животных // Современные достижения и проблемы биотехнологии сельскохозяйственных животных: Материалы 10-й Всерос. конф.-школы молодых ученых Дубровицы.: ВИЖ, 2015, С. 237-143.
5. Песцов Г.В., Сидоров Р.А., Глазунова А.В., Бутенко С.А. Биотехнологическая утилизация органических отходов с помощью насекомого *Hermetia illucens* (черная львинка) // Проблемы научной мысли. 2021. Т. 7, № 4. С. 23-25.
6. Saprionova Zh.A., Shoukhov V.G., Sverguzova S.V., Svyatchenko A.V., Shaikhiiev I.G. Использование насекомых в сельском хозяйстве – путь к рациональному природопользованию // Construction economic and environmental management. 2020. Vol. 77, № 4. P. 5-9.

7. Hoornweg D., Bhada-Tata P. What a waste: a global review of solid waste management. World Bank.: Washington, 2012, Vol. 15, 116 p.
8. Hume, D. A., Whitelaw, C. B. A., Archibald, A. L. The future of animal production: improving productivity and sustainability // *Agricultural Science*. 2011. Vol. 149, No. S1. P. 9–16. <https://doi.org/10.1017/s0021859610001188>
9. Influence of three artificial light sources on oviposition and half-life of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): Improving small-scale indoor rearing / Carina D. Heussler, Andreas Walter, Hannes Oberkofler, Heribert Insam, Wolfgang Arthofer, Birgit C. Schlick-Steiner, Florian M. Steiner // *PLOS ONE*. 2018. Vol. 11, No. 5. P. 10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197896>
10. Insights in the Global Genetics and Gut Microbiome of Black Soldier Fly, *Hermetia illucens*: Implications for Animal Feed Safety Control Fathiya / Khamis M., Ombura1 F.L.O., Akutse1 K. S., Subramanian S., Mohamed S.A., Fiaboe K. K.M., Weerachai S., Joop J. A. Van Loon, Dicke M., Dubois T., Ekesi S., Tanga C.M. // *Frontiers in Microbiology*. 2020. Vol. 11. P. 15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01538>
11. Kou Zongqing, Jian Xu, Jun Xu, Longyu Zheng. Genomic landscape and genetic manipulation of the black soldier fly *Hermetia illucens*, a natural waste recycler // *Cell Research*. 2019. Vol. 11. P.12. <https://doi.org/10.1038/s41422-019-0252-6>
12. Long-Term Artificial Selection for Increased Larval Body Weight of *Hermetia illucens* in Industrial Settings / Facchini E., Shrestha K., Boer E.v.d., Junes P., Sader G., Peeters K., Schmitt E. // *Frontiers in Genetics*. 2022. Vol. 13. P.9. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.865490>
13. Macavei L.I., Benassi G., Stoian V., Maistrello L. Optimization of *Hermetia illucens* (L.) egg laying under different nutrition and light conditions // *PLOS ONE*. 2020. 18 p. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232144>
14. Optimization of black soldier fly (*Hermetia illucens*) / Bertrand H., Grégoire N., Joachim C., Frédéric F., Rudy C. M. // *PLOS ONE*. 2019. P. 13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216160>
15. Pastor B., Velasquez Y., Gobbi P., Rojo S. Conversion of organic wastes into fly larval biomass: bottlenecks and challenges // *Journal of Insects as Food and Feed*. 2015. Vol. 1, No. 3. P. 179-193. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0024>
16. Paz A.S., Carrejo N.S., Gymez Rodríguez C.H. Effects of Larval Density and Feeding Rates on the Bioconversion of Vegetable Waste Using Black Soldier Fly Larvae *Hermetia illucens* (L.) // *Waste Biomass*. 2015. Vol 6, P. 1059–1065. <https://doi.org/10.1007/s12649-015-9418-8>

17. Potential usage of food waste as a natural fertilizer after digestion by *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) /Choi Y., Choi J., Kim J., Kim M., Kim W., Park K., Bae S., Jeong G. // International Journal of Industrial Entomology. 2009. Vol. 19, No.1. P. 171-174.
18. Singh A., Kumari K. An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review // Journal of Environmental Management. 2019. Vol. 251. P.13. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109569>
19. Threshold Temperatures and Thermal Requirements of Black Soldier Fly *Hermetia Illucens*: Implications for Mass Production / Chia S. Y., Tanga, C. M., Khamis, F. M., Mohamed, S. A., Salifu, D., Sevgan, S., Fiaboe K. K. M., Niassy, S., van Loon, J. J. A., Dicke M., Ekesi S. // PLOS ONE. 2018. Vol. 13, No. 11. P. 26. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206097>
20. Technical handbook of domestication and production of diptera black soldier fly (bsf) *hermetia illucens*, stratiomyidae / Caruso D., Devic E., I Subamia W., Talamond P., Baras E.: PT Penerbit IPB Press Kampus IPB Taman Kencana Bogor, 2013. 159 p.

References

1. Antonov A. M., Lutovinovas E., Ivanov G. A., Pastukhova N. O. Adaptatsiya i perspektivy razvedeniya mukhi Chernaya l'vinka (*Hermetia illucens*) v tsirkumpolyarnom regione [Adaptation and prospects of breeding of the Black soldier fly (*Hermetia illucens*) in the circumpolar region]. *Printsipy ekologii*, 2017, vol. 6, no. 3, pp. 4–19. <https://doi.org/10.15393/j1.art.2017.6302>
2. Bastrakov A.I., Zagorinskiy A.A., Kozlova A.A. Vysokoeffektivnaya biokonversiya organicheskikh substratov lichinkami Chernoy l'vinki (*Hermetia illucens*) [Highly effective bioconversion of organic substrates by larvae of the Black Soldier fly (*Hermetia illucens*)]. *Biotekhnologiya i kachestvo zhizni: materialy Mezhdunarodnoy nauch.-prakt. konf.* [Biotechnology and quality of life: materials of the International scientific and practical. conf.]. Kazan, 2014, pp. 418-419.
3. Bastrakov A.I. Ushakova N.A. Pererabotka ptich'ey pometnoy podstilki lichinkami Chernoy l'vinki (*Hermetia illucens*) [Processing of bird litter litter by larvae of the Black Soldier fly (*Hermetia illucens*)]. *Biotekhnologiya: sostoyanie i perspektivy razvitiya: materialy VIII Moskovskogo Mezhd. Kongressa* [Biotechnology: status and development prospects: materials of the VIII Moscow Int. Congress]. M.: CJSC “Expo-biochemical-technologies”, RKhTU im. DI. Mendeleeva, 2015, pp. 350-351.

4. Nekrasov R.V., Ushakova N.A., Chabaev M.G. Lichinki mukhi Chernyy soldat (*Hermetia illucens*) v pitanii zhyvotnykh [Larvae of the Black Soldier fly (*Hermetia illucens*) in animal nutrition]. *Sovremennye dostizheniya i problemy biotekhnologii sel'skokhozyaystvennykh zhyvotnykh: Materialy 10-y Vseros. konf.-shkoly molodykh uchenykh Dubrovitsy* [Modern achievements and problems of biotechnology of farm animals: Proceedings of the 10th All-Russian. Conf. School of Young Scientists Dubrovitsa]. VIZh, 2015, pp. 237-143.
5. Pestsov G.V., Sidorov R.A., Glazunova A.V., Butenko S.A. Biotekhnologicheskaya utilizatsiya organicheskikh otkhodov s pomoshch'yu nasekomogo *Hermetia illucens* (chernaya l'vinka) [Biotechnological utilization of organic waste using the insect *Hermetia illucens* (black soldier fly)]. *Problemy nauchnoy mysli*, 2021, vol. 7, no. 4, pp. 23-25.
6. Saponova Zh.A., Shoukhov V.G., Sverguzova S.V., Svyatchenko A.V., Shaikhiev I.G. Ispol'zovanie nasekomykh v sel'skom khozyaystve – put' k ratsional'nomu prirodopol'zovaniyu [The use of insects in agriculture is the way to rational nature management]. *Construction economic and environmental management*, 2020, vol. 77, no. 4, pp. 5-9.
7. Hoornweg D., Bhada-Tata P. What a waste: a global review of solid waste management. World Bank: Washington, 2012, vol. 15, 116 p.
8. Hume, D. A., Whitelaw, C. B. A., Archibald, A. L. The future of animal production: improving productivity and sustainability. *Agricultural Science*, 2011, vol. 149, no. S1, pp. 9–16. <https://doi.org/10.1017/s0021859610001188>
9. Influence of three artificial light sources on oviposition and half-life of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): Improving small-scale indoor rearing / Carina D. Heussler, Andreas Walter, Hannes Oberkofler, Heribert Insam, Wolfgang Arthofer, Birgit C. Schlick-Steiner, Florian M. Steiner. *PLOS ONE*, 2018, vol. 11, no. 5, p. 10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197896>
10. Insights in the Global Genetics and Gut Microbiome of Black Soldier Fly, *Hermetia illucens*: Implications for Animal Feed Safety Control Fathiya / Khamis M., Ombura1 F.L.O., Akutse1 K. S., Subramanian S., Mohamed S.A., Fiaboe K. K.M., Weerachai S., Joop J. A. Van Loon, Dicke M., Dubois T., Ekesi S., Tanga C.M. *Frontiers in Microbiology*, 2020, vol. 11, p. 15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01538>
11. Kou Zongqing, Jian Xu, Jun Xu, Longyu Zheng. Genomic landscape and genetic manipulation of the black soldier fly *Hermetia illucens*, a natural waste recycler. *Cell Research*, 2019, vol. 11, p. 12. <https://doi.org/10.1038/s41422-019-0252-6>
12. Long-Term Artificial Selection for Increased Larval Body Weight of *Hermetia illucens* in Industrial Settings / Facchini E., Shrestha K., Boer E.v.d., Junes

- P., Sader G., Peeters K., Schmitt E. *Frontiers in Genetics*, 2022, vol. 13, p. 9. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.865490>
13. Macavei L.I., Benassi G., Stoian V., Maistrello L. Optimization of *Hermetia illucens* (L.) egg laying under different nutrition and light conditions. *PLOS ONE*, 2020, 18 p. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232144>
 14. Optimization of black soldier fly (*Hermetia illucens*) / Bertrand H., Grégoire N., Joachim C., Frédéric F., Rudy C. M. *PLOS ONE*, 2019, pp. 13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216160>
 15. Pastor B., Velasquez Y., Gobbi P., Rojo S. Conversion of organic wastes into fly larval biomass: bottlenecks and challenges. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2015, vol. 1, no. 3, pp. 179-193. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0024>
 16. Paz A.S., Carrejo N.S., Gymez Rodríguez C.H. Effects of Larval Density and Feeding Rates on the Bioconversion of Vegetable Waste Using Black Soldier Fly Larvae *Hermetia illucens* (L.). *Waste Biomass*, 2015, vol. 6, pp. 1059–1065. <https://doi.org/10.1007/s12649-015-9418-8>
 17. Potential usage of food waste as a natural fertilizer after digestion by *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) / Choi Y., Choi J., Kim J., Kim M., Kim W., Park K., Bae S., Jeong G. *International Journal of Industrial Entomology*, 2009, vol. 19, no. 1, pp. 171-174.
 18. Singh A., Kumari K. An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review. *Journal of Environmental Management*, 2019, vol. 251, p.13. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109569>
 19. Threshold Temperatures and Thermal Requirements of Black Soldier Fly *Hermetia Illucens*: Implications for Mass Production / Chia S. Y., Tanga, C. M., Khamis, F. M., Mohamed, S. A., Salifu, D., Sevgan, S., Fiaboe K. K. M., Niassy, S., van Loon, J. J. A., Dicke M., Ekesi S. *PLOS ONE*, 2018, vol. 13, no. 11, p. 26. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206097>
 20. Technical handbook of domestication and production of diptera black soldier fly (bsf) *hermetia illucens*, stratiomyidae / Caruso D., Devic E., I Subamia W., Talamond P., Baras E.: PT Penerbit IPB Press Kampus IPB Taman Kencana Bogor, 2013. 159 p.

ДАнные об авторах

Песцов Георгий Вячеславович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий микробиологической лаборатории центра технологического превосходства «Передовые химические и биотехнологии»

*Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого
пр. Ленина 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
georgypestsov@gmail.com*

Прокудина Ольга Владимировна, студент кафедры биологии и технологии живых систем, лаборант технопарка универсальных педагогических компетенций
*Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого
пр. Ленина 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
prokudinaolga11@gmail.com*

Третьякова Анастасия Валерьевна, аспирант кафедры биологии и технологии живых систем, младший научный сотрудник микробиологической лаборатории центра технологического превосходства «Передовые химические и биотехнологии»
*Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого
пр. Ленина 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
glazynovaanastasiya@gmail.com*

Бутенко Сергей Алексеевич, директор
*ООО «Львинка»
пл. Октября, 6, г. Белев, 301530, Российская Федерация
b@lvinka.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Georgiy V. Pestsov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Microbiological Laboratory of the Center for Technological Excellence “Advanced Chemical and Biotechnology”
*Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University
125, Lenin Ave., Tula, 300026, Russian Federation
georgypestsov@gmail.com*

Olga V. Prokudina, student of the Department of Biology and Technology of Living Systems, laboratory assistant of the Technopark of Universal Pedagogical Competencies

*Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University
125, Lenin Ave., Tula, 300026, Russian Federation
prokudinaolg11@gmail.com*

Anastasia V. Tretyakova, Postgraduate at the Department of Biology and Technology of Living Systems, Junior Researcher of the Microbiological Laboratory of the Center for Technological Excellence “Advanced Chemical and Biotechnology”

*Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University
125, Lenin Ave., Tula, 300026, Russian Federation
glazynovaanastasiya@gmail.com*

Sergey A. Butenko, Director

*LLC “Lvinka”
6, October pl., Belev, 301530, Russian Federation
b@lvinka.ru*

Поступила 19.10.2022

После рецензирования 06.11.2022

Принята 18.11.2022

Received 19.10.2022

Revised 06.11.2022

Accepted 18.11.2022

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

AGRICULTURAL SCIENCES

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-92-124

УДК 633.111.324



Научная статья | Насекомые

**ЗАВИСИМОСТЬ УРОЖАЙНОСТИ
ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ (*TRITICUM AESTIVUM* L.)
ОТ ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
И РАЗЛИЧНЫХ ОБРАБОТОК ПОЧВЫ
В ЗОНЕ СВЕТЛО-КАШТАНОВЫХ ПОЧВ
ВОЛГО-ДОНСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ
ЮЖНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

*А.Ю. Гузенко, А.В. Солонкин,
А.И. Беляев, Е.В. Семинченко*

Обоснование. Условия Волгоградской области Российской Федерации являются зоной рискованного земледелия с засушливым климатом. Данный фактор невозможно контролировать агротехнологическими приемами в полном масштабе, даже если соблюдать все технологические процессы ведения полевых работ. Исходя из этого, разработку новых адаптивных технологий, применительно к определенным почвенно-климатическим территориям, можно отнести к одной из задач современной аграрной науки.

Обработка почвы является важнейшей производственной операцией в земледелии, как по энергоемкости, так и по влиянию на урожай всех возделываемых культур. Она играет роль в повышении плодородия почвы и ее сохранности от водной и ветровой эрозии.

Представлены результаты опыта с научным обоснованием и экспериментальным подтверждением по использованию различных вариантов об-

работки почвы (отвальная, безотвальная, мелкая) для выращивания полевых культур в зависимости от влияния сложившихся климатических условий в 2018-2020 годах на опытном поле ФНЦ агроэкологии РАН, в сухостепной зоне каштановых почв.

Цель работы – выявить влияние обработки почвы в складывающихся климатических условиях на засоренность и урожайность озимой пшеницы, провести математическую обработку программой статистических обработок STATISTICA Application 10.0.0.0 и Excel для возможности последующего теоретического определения зависимости урожайности и засоренности посевов озимой пшеницы от различных вариантов обработки почвы в складывающихся климатических условиях.

Новизна работы заключается в том, что впервые проведены исследования и получены данные по зависимости урожайности и засоренности посевов озимой пшеницы от различных вариантов обработки почвы в складывающихся климатических условиях в сухостепной зоне каштановых почв. В последующем имеется возможность теоретически обосновать применение той или иной обработки почвы при определенных климатических условиях для снижения засоренности посевов озимой пшеницы и повышения ее урожайности.

Материалы и методы. Так как озимая пшеница выращивается в экстремальных температурных условиях, обработка почвы играет важную роль в обеспечении лучшего водного режима для жизненного цикла растений.

Почва опытного участка – светло-каштановая, тяжелосуглинистая, с содержанием гумуса в пахотном слое 1,74 %. Количество среднегодовых осадков составляло 339,7 мм. Технология возделывания этих культур была общепринятой для зоны проведения исследований. Высевали районированный сорт озимой мягкой пшеницы Камышанка 4 с нормой высева 4,5 млн. шт./га сеялкой СКП-2,1 (Омичка) с анкерными сошниками. При обследовании сорняков использовали рамки размером 50×50 см. Видовой состав сорняков распределяли по типу (однодольные или двудольные) и жизненному циклу (однолетние или многолетние). Определяли урожайность зерна, а также компоненты урожайности озимой пшеницы: высота растения (см.), количество зерен в колосе (шт.), масса зерна с одного колоса (гр.), масса 1000 зерен (гр.). Полученные результаты исследования анализировали в программе STATISTICA Application 10.0.0.0. По результатам статистических исследований были построены эмпирические модели плотности почвы по наиболее значимым факторам. Анализ показал, что на плотность почвы по различным обработкам влияли температура воздуха и количество осадков в наиболее критические периоды развития.

Результаты. Установлено, что самая высокая засоренность посевов озимой пшеницы обеспечивается по мелкой обработке БДТ-3 на глубину 0,10-0,12 м 22,9 шт./м². Многолетние сорняки доминировали над однолетними растениями по всем обработкам. Это в первую очередь связано с колебаниями температуры почвы весной, что приводит к задержке прорастания семян. Остатки покровной культуры делают барьер для прорастания однолетних сорняков и может способствовать более крупным семенам многолетников. Высокое содержание сухой биомассы наблюдалось при мелкой обработке, это связано с более высоким содержанием влаги в почве, так как при мелкой обработке меньше нарушается слой почвы. Многолетние сорняки могут быть устойчивы к засухе из-за разной корневой системы. У однолетних сорняков корневая система мелкая и мочковатая, они не могут получить влагу из глубоких слоев почвы. По урожайности и компонентам урожайности озимой пшеницы наибольшие показатели наблюдались по чизельной обработке рабочими органами «Ранчо» с рыхлением до 0,35 м и оборотом пласта на 0,12-0,15 м: высота растения – 105 см; наибольшее количество продуктивных стеблей – 304 шт./м²; продуктивная кустистость – 304 шт./м²; масса 1000 зерен – 40,9 г.; количество зерен с колоса – 32,3 шт./м²; масса зерна с одного колоса 1,32 гр. и урожайностью – 3,7 т/га. Областью применения данного исследования является сухостепная зона Нижнего Поволжья.

Заключение. Сделаны заключения о хорошей взаимосвязи использования определенного орудия обработки почвы от складывающихся определенных климатических условий. Во влажные годы 2018-2019 гг. себя отлично показал «ЧО» Ранчо на глубину 12-15 см, а в засушливый год «ОО» ПН-4-35 на глубину 0,20 – 0,22 м в связи с созданием определенного водного режима и плотности почвы показала лучший результат. Данные обработанные в STATISTICA Application 10.0.0.0 и в Excel дают теоретическое обоснование прямой зависимости урожайности от обработок по всем факторам структуры почвы и засоренности, а также на структуру урожайности на период 2018-2020 гг.

Ключевые слова: обработка почвы; урожайность озимой пшеницы; структура урожая; статистический анализ

Для цитирования. Гузенко А.Ю., Солонкин А.В., Беляев А.И., Семинченко Е.В. Зависимость урожайности озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) от почвенно-климатических условий и различных обработок почвы в зоне светло-каштановых почв Волго-Донского междуречья Южного федерального округа Российской Федерации // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №2. С. 92-124. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-92-124

Original article | Insects

DEPENDENCE OF THE YIELD OF WINTER WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.) ON SOIL AND CLIMATIC CONDITIONS AND VARIOUS TILLAGES IN THE ZONE OF LIGHT CHESTNUT SOILS OF THE VOLGA-DON INTERFLUVE AREA OF THE SOUTHERN FEDERAL DISTRICT OF THE RUSSIAN FEDERATION

*A. Yu. Guzenko, A. V. Solonkin,
A. I. Belyaev, E. V. Semichenko*

Background. *The conditions of the Volgograd region of the Russian Federation are a zone of risky agriculture with an arid climate. This factor cannot be controlled by agro technological techniques on a full scale, even if all technological processes of field work are followed. Based on this, the development of new adaptive technologies, in relation to certain soil and climatic territories, can be attributed to one of the tasks of modern agricultural science.*

Tillage is the most important production operation in agriculture, both in terms of energy intensity and the impact on the yield of all cultivated crops. It plays a role in improving soil fertility and its safety from water and wind erosion.

The results of the experiment with scientific justification and experimental confirmation on the use of various tillage options (dump, dump less, shallow) for growing field crops depending on the influence of prevailing climatic conditions in 2018-2020 on the experimental field of the Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, in the dry-steppe zone of chestnut soils are presented.

Purpose – *is to identify the influence of tillage and emerging climatic conditions on the weeding and yield of winter wheat, to carry out mathematical processing by the STATISTICA Application 10.0.0.0 and Excel statistical processing program for the possibility of subsequent theoretical determination of the dependence of the yield and weeding of winter wheat crops on various tillage options in the emerging climatic conditions.*

The novelty of the work lies in the fact that for the first time studies have been carried out and data have been obtained on the dependence of the yield and infestation of winter wheat crops on various tillage options in the prevailing climatic conditions in the dry steppe zone of chestnut soils. Subsequently, it is possible to

theoretically substantiate the use of one or another tillage under certain climatic conditions to reduce the infestation of winter wheat crops and increase its yield.

Materials and methods. *Since winter wheat is grown in extreme temperature conditions, tillage plays an important role in ensuring the best water regime for the plant life cycle.*

The soil of the experimental site is light chestnut, heavy loamy, with a humus content of 1.74% in the arable layer. The average annual precipitation was 339.7 mm. The technology of cultivation of these crops was generally accepted for the research area. A zoned variety of winter soft wheat Kamyshanka 4 was sown with a seeding rate of 4.5 million pcs/ha with a seeder SKP-2.1 (Omichka) with anchor coulters. When examining weeds, frames measuring 50×50 cm were used. The species composition of weeds was distributed by type (monocotyledonous or dicotyledonous) and life cycle (annual or perennial). Grain yield was determined, as well as the components of winter wheat yield: plant height (cm), number of grains per ear (pcs), grain weight per ear (gr), weight of 1000 grains (gr). The results of the study were analyzed in the program STATISTICA Application 10.0.0.0. Based on the results of statistical studies, empirical models of soil density were built for the most significant factors. The analysis showed that the density of the soil under various treatments was influenced by air temperature and precipitation during the most critical periods of development.

Results. *It was found that the highest contamination of winter wheat crops is provided by fine processing of BDT-3 to a depth of 0.10-0.12 m 22.9 pcs/m². Perennial weeds dominated over annual ones in all treatments. This is primarily due to fluctuations in soil temperature in spring, which leads to a delay in seed germination. The remains of the cover crop make a barrier to the germination of annual weeds and can contribute to larger seeds of perennials. A high content of dry biomass was observed during shallow processing, this is due to a higher moisture content in the soil, since the soil layer is less disturbed during shallow processing. Perennial weeds can be resistant to drought due to different root systems. The annual weeds have a shallow and spongy root system, they cannot get moisture from deep layers of soil. In terms of yield and yield components of winter wheat, the highest indicators were observed for chisel processing by working bodies of the "Ranch" with loosening up to 0.35 m and a layer turnover of 0.12-0.15 m: plant height – 105 cm; the largest number of productive stems – 304 pcs./m²; productive bushiness – 304 pcs./m²; weight of 1000 grains – 40.9 g.; the number of grains per ear – 32.3 pcs./m²; the weight of grain per ear is 1.32 gr. and the yield is 3.7 t/ha. The field of application of this study is the dry steppe zone of the Lower Volga region.*

Conclusion. *As a result of studying the productivity of winter wheat in rain-fed conditions on light chestnut soils of the Lower Volga region, it was found that, on average, over three years of research from 2018 to 2020. Also, conclusions are made about the good relationship between the use of a certain tool of tillage from the prevailing certain climatic conditions. In the wet years of 2018-2019, the “CHO” Ranch showed itself perfectly to a depth of 12-15 cm, and in the dry year “OO” PN-4-35 to a depth of 0.20 – 0.22 cm due to the creation of a certain water regime and soil density showed the best result. The data processed in STATISTICA Application 10.0.0.0 and in Excel provide a theoretical justification for the direct dependence of yield factors on treatments for all factors of soil structure and contamination, as well as on the yield structure for the period 2018-2020 years.*

Keywords: *tillage; winter wheat yield; crop structure; statistical analysis*

For citation. *Guzenko A.Yu., Solonkin A.V., Belyaev A.I., Seminchenko E.V. Dependence of the Yield of Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) on Soil and Climatic Conditions and Various Tillages in the Zone of Light Chestnut Soils of the Volga-Don Interfluvium Area of the Southern Federal District of the Russian Federation. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 92-124. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-92-124*

Введение

Озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) является основной зерновой культурой в Нижнем Поволжье, и занимает наибольшие посевные площади. Удельный вес озимой пшеницы составляет в валовом сборе зерна около 50%. Зерновой клин только в Волгоградской области составляет 1,5 млн. га и из них около миллиона гектаров приходится на зону каштановых почв, а в целом по Южному региону России – 13,4 млн. га [1, 2, 9]. Поэтому интерес к озимой пшенице очевиден, и повышение ее урожайности имеет наиважнейшее значение для увеличения производства зерна [4, 19, 30, 33, 46, 47].

В благоприятные годы, когда на протяжении осенне-зимнего и весенне-летнего периода погодные условия отвечают требованиям этой культуры, она дает на плодородных почвах очень высокие урожаи зерна [15, 20, 34, 38, 40].

Влага в почве – один из лимитирующих факторов урожая. Особенно это касается сухостепных и полупустынных районов, где в годы с высоким увлажнением гарантировано получение высоких урожаев не только на хороших почвах, но и на солонцах. В годы с низким уровнем увлажнения и в особенности в остро засушливые годы, когда влаги не хватает, урожаи резко снижаются [10, 26, 32, 39].

Озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – является одной из старейших культур, которая в настоящее время по посевным площадям занимает первое место в мире [13]. Засорение сорняками, низко продуктивные сорта, использование малопродуктивных земель и плохое управление посевами являются причиной низких урожаев [12, 35, 48].

Характер и степень засоренности посевов, фенология сорняков на фоне фенологического развития культурных растений значительно варьирует от сезона к сезону. Это связано с особенностями метеорологических условий года, типа севооборота возделываемых культур, почвенных условий, агротехники. Вопросы влияния засоренности посевов на урожайность зерна до сих пор изучены недостаточно. Такие исследования ведутся, но в основном в связи с развитием подходов точного земледелия и локализации применения средств борьбы с сорной растительностью. Однако в этих исследованиях не идет речь о дистанционном распознавании видов сорной растительности, так как более важное практическое значение имеет точность определения площадей ее распространенности, а виды сорной растительности определяют непосредственно в поле [14, 37].

Засоренность значительно снижает урожайность и качество зерна. Сорняки конкурируют с сельскохозяйственными культурами за основные ресурсы, что приводит к снижению урожайности. Сорняки могут снизить урожайность до 50% в зависимости от вида сорняков и интенсивности засорения. Поэтому для повышения урожайности необходима успешная борьба с сорной растительностью [23, 29, 42, 43, 55].

Обработка почвы является важнейшей производственной операцией в земледелии, как по энергоемкости, так и по влиянию на урожай всех возделываемых культур. Она играет роль в повышении плодородия почвы и ее сохранности от водной и ветровой эрозии [16, 18, 21, 24, 28].

Обработка почвы оказывает значительное влияние на количество и качество зерна, поскольку изменение физических, химических и биологических свойств почвы оказывает прямое влияние на рост и развитие сельскохозяйственных культур [8, 17, 27]. При выборе системы обработки почвы необходимо создать оптимальные условия для получения высокого урожая зерна с благоприятными показателями качества. Тем не менее, мнения о влиянии систем обработки почвы на урожайность неоднозначны, так как получаемые результаты во многом зависят от условий местообитания, складывающихся погодных условий и вида культуры [7, 36, 53, 54].

Волгоградская область расположена на юго-востоке европейской части России в зоне степей, и частично полупустыни. Климат области конти-

нентальный, с жарким засушливым летом, холодной, малоснежной зимой. Средняя температура июля 21,5-25,0 °С, января минус 7,5-11,5 °С. Продолжительность безморозного периода 150-180 дней. Сумма активных температур свыше 10°С за период вегетации варьирует в пределах 2700-3400°С [31, 41, 51].

Характерной особенностью климата области является засушливость, которая возрастает с севера-запада на юго-восток. Среднегодовое количество осадков составляет от 270 до 500 мм. Каждый 3-й и 4-ый год характеризуются как засушливый.

Увеличение урожайности в конкретных климатических условиях может решаться за счет увеличения разных элементов структуры урожая и их оптимального сочетания: числа продуктивных стеблей, длины колоса, числа колосков и зерен в колосе, массы 1000 зерен, массы зерна одного колоса и растения [3, 5, 6].

При этом урожайности и валовые сборы зерна на прямую влияют на качественные показатели зерна. Зерно – продукт промежуточный, и от его качества, прежде всего от содержания уровня белков, зависит качество конечного продукта – хлеба. Именно качество урожая определяет дальнейшее направление использования зерна.

Цель работы – выявить влияние обработки почвы, засоренности и климата на урожайность озимой пшеницы.

Материалы и методы

Опыт на озимой пшенице был заложен в трехкратной повторности, размещение вариантов рендомизированные (случайное). Размер посевных делянок составил 60 x 7,2 м (площадь 432 м²). Объектом исследования был сорт «Камышанка 4», включен в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в 2010 г. Родословная: Лютесценс 332 x Харьковская 92. Авторы: Волынсков Валерий Петрович, Игольникова Любовь Васильевна, Киселев Виктор Александрович, Питоня Антонина Андреевна, Питоня Владимир Николаевич, Пожилов Владимир Иванович, Гиберт Алевтина Павловна, Сидельникова Зоя Александровна. Оригинатор: Федеральный Научный Центр Агрэкологии, Комплексных Мелиораций и Защитного Лесоразведения РАН, Камышинское ОПХ. Предназначен для возделывания в Нижневолжском регионе РФ. Разновидность лютесценс. Зимостойкость и засухоустойчивость высокие. Масса 1000 зерен – 41-42 г, содержание клейковины в зерне 36 %. Урожай зерна 4-5 т/га.

Исследования проводились в период 2018-2020 гг. на полях ФНЦ агроэкологии РАН.

Почва опытного участка светло-каштановая, слабосолонцеватая с содержанием поглощенного натрия 4,27-4,42%. Реакция почвенного раствора близка к нейтральной 6,45-7,53%. В слое почвы 0-25 см гумуса содержится 2,73%, общего азота – 0,16-0,12, фосфора 0,11-0,12, калия 2,0-2,24%. Сумма поглощенных оснований – 25-27 мг.экв. на 100 г почвы с преобладанием поглощённого кальция (70-75%).

В сентябре 2017 г. выпало 23,8 мм осадков, что ниже на 58% по сравнению со среднемноголетними данными – 37,8 мм. Среднемесячная температура воздуха в сентябре составляла 18,8°C против среднемноголетних значений 17,3°C (Рис. 1).

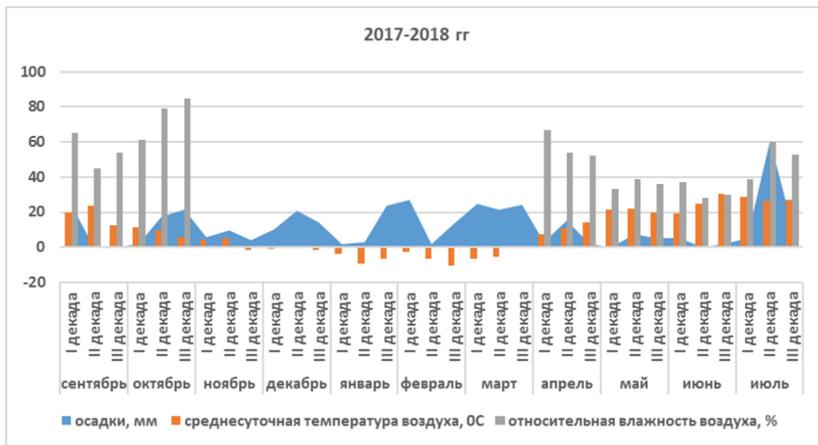


Рис. 1. Климатограмма вегетационного периода озимой пшеницы 2017-2018 с/х года

До 25 сентября стояло метеорологическое лето, после среднесуточная температура воздуха опустилась ниже 15°C, в результате наступила метеорологическая осень, которая продолжалась до 4 ноября, когда среднесуточная температура снизилась до 2,5°C. В октябре выпало – 41 мм осадков, против среднемноголетних значений 27,5 мм. Температура воздуха в этом месяце равнялась 8,8°C против 9,6°C. В результате теплая и влажная осень позволила получить хорошие дружные всходы озимой пшеницы, которые ушли в зиму отлично раскутившись. Зима 2017-2018 годов была умеренно холодная. Всего за зимние месяцы выпало 116,5 мм

осадков в виде снега. С 8 апреля началась метеорологическая весна. Среднемесячная температура воздуха в этом месяце составила $14,3^{\circ}\text{C}$ и выпало 19,4 мм осадков (Рис.1).

Май 2018 года выдался засушливый, выпало 12,7мм осадков. Температура воздуха в этом месяце составила $21,1^{\circ}\text{C}$. Средняя относительная влажность 36%, из них 26 дней дули суховеи. Засуха приостановилась на неделю, затем засушливые дни возобновились, установилась жаркая засушливая погода. Самое низкое количество осадков из летних месяцев отмечалось в августе – 0,8 мм. Температура воздуха в июне и июле находилась в норме и соответственно составила $24,9$ и $25,6^{\circ}\text{C}$. В августе она немного понизилась до $25,1^{\circ}\text{C}$. За период вегетации озимой пшеницы в 2018 году выпало 170,3 мм осадков, что составляет 45,4 % от суммы годовых осадков, равных 374,9 мм. ГТК озимых культур составил 0,50, что свидетельствует о засушливом климате (Рис. 2).

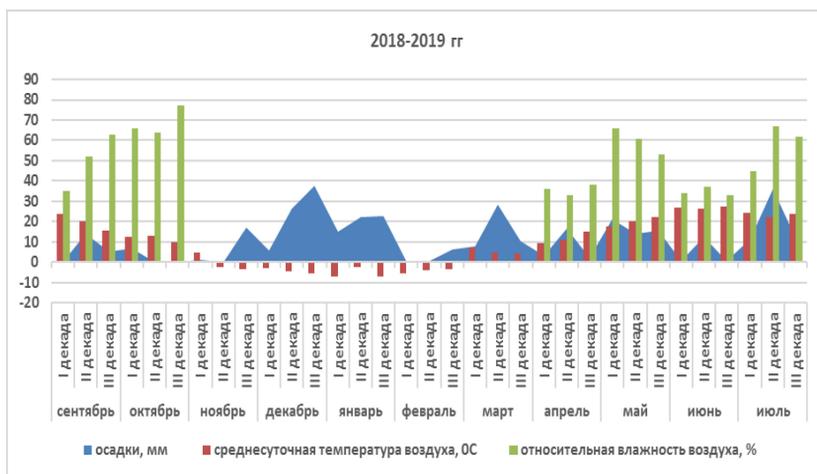


Рис. 2. Климатограмма озимой пшеницы периода 2018-2019 гг.

Посев озимой пшеницы по обработкам почвы производился 19 сентября 2018 г., при этом с начала месяца выпало всего 14 мм осадков. За октябрь – ноябрь месяцы осадки выпали в количестве 35,4 мм. ГТК за сентябрь-октябрь составил 0,4. Это позволило получить удовлетворительные саженцы зимней пшеницы, с высокими полевыми зарождениями. Однако 23 октября среднесуточная температура воздуха снизилась до $1,2^{\circ}\text{C}$ с охлаждением ночью до минус значения, что указывает на прекращение

вегетационного периода, в результате, зимние культуры пошли зимой в фазе 2 листьев.

Самая высокая температура составила 32,9°C (24.05.2019). ГТК за весенне-летний период составил 0,5. Фаза полной спелости озимой пшеницы отмечалась уже в конце июня (Рис. 3).

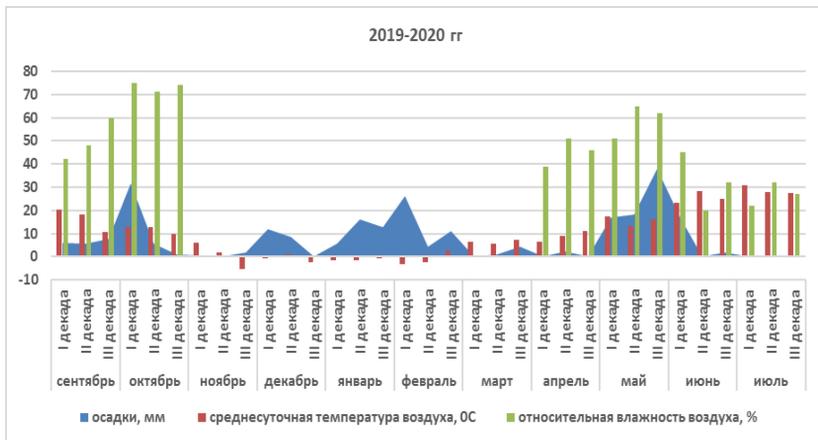


Рис. 3. Климатограмма озимой пшеницы периода 2019-2020 гг

До посева зимней пшеницы в 2019-2020 годах сельскохозяйственный год (Рис. 3) развил чрезвычайно негативную ситуацию. При незначительных осадках в сентябре – 19,5 мм и повышенной средней температуре 22,3°C по сравнению с 17,3°C сильно иссушило посевной слой даже на паровых полях. Посев озимой пшеницы был проведен 23 октября 2018 г, что не позволило озимой пшеницы достаточно раскуститься. Растения озимой пшеницы ушло в зиму в фазе шильца, ГТК за сентябрь-октябрь составил 0,4.

На начало весенней вегетации озимой пшеницы в 2020 году при температуре 8,9°C выпало 2,2 мм осадков. Посевы пшеницы были в критическом состоянии. Но обильные осадки, которые выпали в мае – 73,5 мм и июле – 18,6 мм способствовали накоплению запасов продуктивной влаги в почве для оптимального роста и развития культуры и дальнейшего формирования урожайности. Температура воздуха в июне и июле находилась в пределах 25,5 и 28,8°C, что соответствовало среднесуточным данным (23,9 и 26,0°C). В августе также наблюдалось незначительное превышение среднесуточного показателя на 1,7°C.

Самая низкая относительная влажность воздуха отмечалась в июле 2020 года - 27 %. Больше всего количество дней с относительной влажностью 30% и ниже наблюдается также в этот месяц - 14 дней.

В среднем за отчетный год сумма выпавших осадков составила 271,5 мм, что на 20% меньше по сравнению со среднесуточными значениями (339,2 мм). За вегетационный период (апрель-август) выпало меньше осадков по сравнению со среднесуточными значениями - на 81,3%, что отрицательно сказалось на урожайности. Температура воздуха в среднем за год была выше среднесуточных данных на 1,7⁰С, за вегетацию культур на 0,3⁰С (Рис. 3).

Экспериментальные факторы основной обработки почвы были следующие:

1 - Отвальная обработка стандартным плугом с оборотом пласта (ПН-4-35, Россия) на глубину 0,20-0,22 м (контроль) (ОО);

2 - Чизельная обработка чизельными рабочими органами (ОЧО «Ранчо», Россия) с рыхлением на глубину до 0,35 м и оборотом пласта полуотвалами на глубину 0,12-0,15 м, (ЧО);

3 - Мелкая (поверхностная) обработка дисковыми рабочими органами (БДТ-3, Россия) на глубину 0,10-0,12 м, (МО)

Все обработки проводились в осенний период, весной проводилось покровное боронование (БЗСС-1, Россия) и в течении вегетации, по мере отрастания сорной растительности проводилась культивация на глубину 0,05-0,06 м (КПС-4,5, Россия), последняя культивация проводилась перед посевом. Сев озимой пшеницы осуществлялся в оптимальные сроки для зоны светло-каштановых почв с 05 по 10 сентября, нормой 4,5 млн. шт всхожих семян на 1 га сеялкой с анкерными сошниками (СКП-2,1, Россия). Уборка приводилась сплошным комбинированием в I декаде июля. Семена озимой пшеницы протравливали баковой смесью, протравитель: инсектицидный «Туарег, СМЭ» (28 г/л имидаклоприда + 34 г/л имазалила + 20 г/л тебуконазола) – 1,4 л/т; аминокислотный биостимулятор «Биостим старт» - 1 л/т; и фунгицидный предпосевной протравитель «Поларис» (100 г/л прохлораза + 25 г/л имазалила + 15 г/л тубеканазола) – 1,5 л/т. На полевым опыте гербициды не применялись. Ширина деланки составляла 3,2 м, длина 190 м. Расположение сортов – систематическое. Повторность – трехкратная. Глубина заделки семян – 3-5 см.

Определяли урожайность зерна, а также компоненты урожайности озимой пшеницы: высота растения (см.), количество зерен в колосе (шт.), масса зерна с одного колоса (гр.), масса 1000 зерен (гр.). Урожай зерна

взвешивали отдельно для каждого участка, а полученные результаты приводили к единому значению, выражали в перерасчете на гектар. Количество зерен в колосе и массу зерна в колосе определяли на основе выборки, состоящий из 30 колосков, отобранных случайным образом с каждой деланки. Массу 1000 зерен рассчитывали после уборки пшеницы (по 2×500 зерен с каждой деланки).

Полученные результаты исследования анализировали в программе STATISTICA Application 10.0.0.0. методом дисперсионного анализа (ANOVA), при этом значимость различий оценивали по критерию Тьюки при уровне значимости $< 0,05$. Определяли влияние разных вариантов обработок почвы на засоренность участка, влажность пахотного слоя, а также взаимодействие обработки на структуру урожайности зерна и показатели зерна озимой пшеницы.

Более подробно методы проведения исследований описаны ранее.

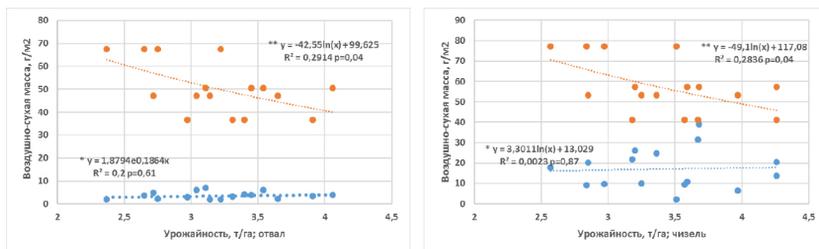
Результаты и обсуждения

Анализ данных показал, что обработка почвы эффективна на ранних стадиях роста сорной растительности. Наименьшее количество сорняков наблюдалось на отвале (контроль) – 13,2 шт/м², на 2 сорняка больше на чизельной обработке. Это связано тем, что отвальная обработка перемещает семена сорных растений в глубокие слои почвы, тем самым снижая засоренность полей. Наибольшее количество сорняков было на мелкой обработке – 22,9 шт/м².

Посевы озимой пшеницы страдали от таких сорняков как вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis*), бодяк полевой (*Cirsium arvense*), осот полевой (*Sonchus arvensis*), марь белая (*Chenodium album*), сурепица обыкновенная (*Barbarea vulgaris*), видов щирицы (*Amaranthus* spp), видов щетинника (*Setaria* spp.), овсюга (*Avena fatua*) и ежовника - куриного проса (*Echinochloa crus-galli*). Весной в посевах озимой пшеницы встречались ранние сорные однолетние растения такие, как хориспора нежная.

Многолетние сорняки доминировали над однолетними по всем обработкам. Это в первую очередь связано с колебаниями температуры почвы весной, что приводит к задержке прорастания семян. Остатки покровной культуры делают барьер для прорастания однолетних сорняков и может способствовать более крупным семенам многолетников. Высокое содержание сухой биомассы наблюдалось при мелкой обработке, это связано с более высоким содержанием влаги в почве, так как при мелкой обработке меньше нарушается слой почвы. Многолетние сорняки могут быть

устойчивы к засухе из-за разной корневой системы. У однолетних сорняков корневая система мелкая и мочковатая, они не могут получить влагу из глубоких слоев почвы.



а) Отвальная обработка плугом ПН-4-35 б) Чизельная обработка «Ранчо»

Рис. 4. Корреляция между урожайностью и надземной биомассой однолетних и многолетних сорняков на разных видах основной обработки (* - однолетние сорняки, ** - многолетние сорняки), среднее за 2018-2020 гг.

Корреляционно-регрессионный анализ показал, что на урожайность озимой пшеницы существенного влияния надземная биомасса однолетних сорняков не оказала по всем видам обработки, в то время как между надземной биомассой многолетних сорняков и урожайностью наблюдалась слабая степень корреляционной связи и описывалась уравнением регрессии при отвальной обработке $Y = -42,55 \ln(x) + 99,62$ ($R^2 = 0,3$; $6 = 0,04$) и при чизельной обработке $Y = -49,1 \ln(x) + 117,08$ ($R^2 = 0,28$; $p = 0,04$).

По результатам статистических исследований были построены эмпирические модели плотности почвы по наиболее значимым факторам (Матрица коэффициентов парной корреляции для плотности почвы и режима увлажнения: Y – плотность почвы; X_1 – некапиллярная порозность; X_2 – общая порозность; X_3 – влажность; X_4 – NO_3 ; X_5 – P_2O_5 ; X_6 – K_2O). Анализ показал, что на плотность почвы по различным обработкам влияли температура воздуха и количество осадков в наиболее критические периоды развития (Таб. 1).

На протяжении 2018-2020 гг. агрофизические свойства почвы показали определенную зависимость от каждого варианта обработки почвы при различных влияниях погодных условий. В умеренно-влажные годы 2018-2019 гг. выведена высокая точность аппроксимации на обработке «ЧО» в 2018 г – $R^2 = 0,92$ и 2019 г – $R^2 = 0,81$. Как видно из полученных уравнений регрессии в таблице 1 были задействованы все факторы анализа обработки почвы. Анализ 2020 года показал высокую засушливость по сравнению

с предыдущими годами исследований, что повлияло на некапиллярную скважность (X_1) и порозность почвы (X_2). Однако на этот год другие обработки: «ОО» - $R^2 = 0,83$ и «МО» - $R^2 = 0,93$ хорошо описывают зависимость изменение плотности от остальных факторов структуры почвы.

Таблица 1.

**Эмпирические модели зависимости плотности почвы
по наиболее значимым факторам структуры почвы на территории
проводились в период 2018-2020 гг.**

Обработка почвы	Уравнение регрессии	R^2
2018 год		
Отвальная плугом ПН-4-35 на глубину 0,20-0,22 м, контроль	$Y = -0,01X_1 - 0,01X_2 + 0,01X_3 + 0,03X_5 + 0,01X_6 + 0,69$	0,26
Чизельная рабочими органами «Ранчо» с рыхлением до 0,35 м и оборотом пласта на 0,12-0,15 м	$Y = 0,08X_1 - 0,03X_2 + 0,07X_3 + 0,01X_4 - 0,05X_5 + 0,02X_6 + 1,22$	0,92
Мелкая БДТ-3 на глубину 0,10-0,12 м	$Y = -0,03X_1 + 0,03X_3 - 0,02X_4 + 0,01X_5 - 0,01X_6 + 1,47$	0,64
2019 год		
Отвальная плугом ПН-4-35 на глубину 0,20-0,22 м, контроль	$Y = -0,12X_1 - 0,02X_3 + 0,23X_4 + 0,19X_5 - 0,02X_6 + 3,23$	0,55
Чизельная рабочими органами «Ранчо» с рыхлением до 0,35 м и оборотом пласта на 0,12-0,15 м	$Y = -0,53X_1 - 0,03X_3 + 0,02X_4 + 0,09X_5 - 0,09X_6 + 11,83$	0,81
Мелкая БДТ-3 на глубину 0,10-0,12 м	$Y = 0,34X_1 + 0,03X_2 - 0,02X_3 - 0,13X_4 + 0,11X_5 - 0,01X_6 - 3,71$	0,69
2020 год		
Отвальная плугом ПН-4-35 на глубину 0,20-0,22 м, контроль	$Y = -0,02X_1 - 0,01X_2 - 0,03X_3 - 0,23X_4 - 0,03X_5 + 0,03X_6 + 1,84$	0,83
Чизельная рабочими органами «Ранчо» с рыхлением до 0,35 м и оборотом пласта на 0,12-0,15 м	$Y = 0,08X_1 + 1,27X_3 + 0,02X_5 - 0,01X_6 - 1,53$	0,74
Мелкая БДТ-3 на глубину 0,10-0,12 м	$Y = 0,21X_1 - 0,18X_2 + 1,29X_4 + 0,02X_5 - 0,01X_6 - 1,93$	0,93

Можно сделать вывод, что в засушливый 2020 год при обработке «ОО» произошла смена влажного слоя при смене горизонтов почвенного профиля на глубине 0-22 см и образование благоприятного водного режима. В случае обработки «МО» на глубину до 10 см модель хорошо описывает зависимость плотности почвы от порозности (X_3) и других факторов структуры почвы в связи с дождливым коротким периодом в конце весны.

Подобные испытания проводились в Китае ученым Цзянь-Фу Сюэ, который указывал, что в целом кратковременная обработка почвы во время летней засухи в основном влияла на содержание почвенных вод в почвенном профиле и оказывала незначительное влияние на другие физические показатели почвы в отличие от других обработок [45]. Из этого можно сделать вывод, что обработка одним агротехническим орудием ежегодно не всегда приводит к улучшению показателей структуры пахотного слоя. Также могут влиять другие факторы на изменение агрофизических показателей почвенного плодородного покрова, к примеру как разные климатические условия.

Многочисленными научными исследованиями доказано, что урожайность зерновых культур зависит от различных агротехнических приемов, таких как способы и глубина основной обработки почвы, минеральное питание, и др., а также складывающихся условий, которые положительно влияют на биометрические показатели, структуру урожая и биологическую урожайность озимой пшеницы.

По результатам статистических исследований были построены эмпирические модели урожайности по наиболее значимым факторам (Матрица коэффициентов парной корреляции для урожайности зерна: Y – урожайность; X_1 – некапиллярная порозность; X_2 – общая порозность; X_3 – влажность; X_4 – NO_3 ; X_5 – P_2O_5 ; X_6 – K_2O). Анализ показал, что на плотность почвы по различным обработкам влияли температура воздуха и количество осадков в наиболее критические периоды развития.

Зависимость урожайности зерна озимой пшеницы от компонентов урожая была различной для изучаемых систем обработки почвы (Таб. 2). При традиционной системе обработки почвы показано, что при увеличении густоты колоса перед уборкой, массы соломы и высоты растений на единицу урожайность повышалась в среднем с 0,01 до 0,36 Mg/га . При нулевой обработке почвы существенное влияние на урожайность озимой пшеницы оказывали густота колоса перед уборкой, количество и масса зерен в колосе, масса 1000 зерен. Корреляционная модель линейной регрессии показывает, что увеличение этого признака на 1 г привело к среднему увеличению урожайности зерна примерно на 2,91 Mg/га . Значение коэффициента детерминации (R^2) указывает на то, что около 50% вариации урожайности объясняется представленной моделью. Коэффициент корреляции 0,71 свидетельствует об умеренно сильной связи между этими признаками.

«ОО» и «ЧО» не вызывали существенных различий в урожайности зерна озимой пшеницы, но была выявлена тенденция ее увеличения от

носителем «МО». При «ОО» продуктивный стеблестой на 1 м² оказалось выше в 2019 году, чем при мелкой обработке на 8,6% в 2018 году и 16,9% в 2020 году (таблица 3). Высота растений на 12,0-25,5 в зависимости от сельскохозяйственного года.

Таблица 2.

Урожайность и структура урожая озимой пшеницы в зависимости от способа основной обработки почвы проводились в период 2018-2020 гг.

Обработка почвы	P	R ²	Уравнение регрессии
2018 год			
Отвальная плугом ПН-4-35 на глубину 0,20-0,22 м, контроль	0.0007	0,98	$Y = -0.35X_2 + 0.09X_3 + 1.45X_6 - 22.50$
Чизельная рабочими органами «Ранчо» с рыхлением до 0,35 м и оборотом пласта на 0,12-0,15 м	0.0006	0,99	$Y = 0.08X_2 + 0.12X_3 + 0.05X_6 - 11.10$
Мелкая БДТ-3 на глубину 0,10-0,12 м	0.0008	0,98	$Y = -0.03X_1 + 0.03X_2 - 0.45X_3 + 0.59X_4 + 1.24$
2019 год			
Отвальная плугом ПН-4-35 на глубину 0,20-0,22 м, контроль	0.0007	0,98	$Y = 1.31X_2 - 0.81X_3 - 0.15X_6 - 96.36$
Чизельная рабочими органами «Ранчо» с рыхлением до 0,35 м и оборотом пласта на 0,12-0,15 м	0.0007	0,99	$Y = 0.01X_1 + 0.13X_2 - 0.15X_3 - 0.10X_6 - 11.89$
Мелкая БДТ-3 на глубину 0,10-0,12 м	0.0008	0,98	$Y = -0.02X_1 + 0.07X_2 - 0.28X_4 + 1.03X_6 - 30.41$
2020 год			
Отвальная плугом ПН-4-35 на глубину 0,20-0,22 м, контроль	0.0007	0,99	$Y = 0.24X_2 + 0.07X_3 - 0.04X_6 - 19.84$
Чизельная рабочими органами «Ранчо» с рыхлением до 0,35 м и оборотом пласта на 0,12-0,15 м	0.0007	0,99	$Y = 0.08X_2 + 0.11X_3 + 0.15X_6 - 13.22$
Мелкая БДТ-3 на глубину 0,10-0,12 м	0.0006	0,98	$Y = -0.14X_2 - 0.11X_4 + 1.63X_6 - 46.41$

С другой стороны, в 2019 году на «ОО» масса 1000 зерен оказалось выше на 2,5%, чем при «МО». Предполагается что затяжные дожди повлияли в июне и июле 2019 г на уменьшение качества зерна озимой пшеницы (рисунок климатограмма 2018-2019 г). Урожайность зерна варьировала от 2,37 т/ до 4,37 т/га, в зависимости от климатических условий сельскохозяйственного года. Самый высокий урожай отмечен в 2019 году на «ЧО» 4,37 т/га. низкая урожайность получена в 2020 году при мелкой обработ-

ке – 2,37 т/га. Посевы пшеницы были в критическом состоянии, так как температура воздуха в июне и июле находилась в высоких пределах от нормы по сравнению с предыдущими годами (рисунок климатограмма 2019-2020 гг.).

Исследование показало, что между основной «ОО» на глубину 0,20-0,22 м и основной «ЧО» рабочими органами «Ранчо» с рыхлением до 0,35 м и оборотом пласта на 0,12-0,15 м не отмечено существенных различий в урожайности зерна озимой пшеницы, в связи с тем, что влияло не только почвенные показатели используемого варианта обработки почвы, но и климатические условия каждого сложившегося года. При «ЧО» было получено большее количество продуктивного стеблестоя на 1 м² относительно «ОО», при «МО» БДТ-3 на глубину 0,10-0,12 м количество продуктивного стеблестоя заметно снижалось (таблица 2). Не зависимо от вида обработки почвы урожайность зерна зависела от таких показателей как количество колосьев на 1 м², количество зерен в колосе и масса 1000 зерен, но при этом на их количественное значение существенное влияние оказывал вид основной обработки почвы. Grigoras и др. (50) доказали, что система «МО» вызывает снижение урожайности на 14% по сравнению с «ОО».

Противоположные результаты получены Ali et al. (12) в южной Италии, где в их эксперименте наилучшие производственные эффекты получены при использовании твердой пшеницы, выращенной по системе «МО».

Однако нельзя исключать влияние климатических условий. К примеру, в Соединенных Штатах авторами Marina Peña-Gallardo, Sergio M. Vicente-Serrano проанализированы реакции годовой урожайности сельскохозяйственных культур в пяти основных засушливых районах. Данное аналогичное исследование подтверждает различия в моделях реакции урожайности сельскохозяйственных культур на временные масштабы засухи в основном контролируемые средними климатическими условиями в целом, и водообеспеченностью (осадками) в частности [22]. Таким образом, наши исследования и исследования авторов показали, что урожайность зерна озимой пшеницы, выращенных при различных обработках зависит от районирования сорта, погоды, от вида культуры и т.д.

Наше исследование показало, что в связи с увеличенной долей зерновых культур в севообороте, с годами возрастает на поле количество сорной растительности [45, 49]. Однако, в данном опыте по уничтожению сорняков наиболее эффективной обработкой почвы оказалось вспашка плугом ПН-4-35. «ОО» на глубину 0,20-0,22 являлась наиболее эффективной, так как растения имеют мощную корневую систему: выюнок поле-

вой (*Convolvulus arvensis*), бодяк полевой (*Cirsium arvense*), осот полевой (*Sonchus arvensis*), марь белая (*Chenodium album*), сурепица обыкновенная (*Barbarea vulgaris*), видов щирицы (*Amaranthus* spp). Данный прием позволил сократить их биомассу и увеличить количество пожнивных остатков.

На варианте с чизельной обработкой рабочими органами Ранчо до 0,35 м с оборотом пласта на 0,12-0,15 м заметно незначительное увеличение засоренности по всем годам исследования. Уменьшение обработки поверхностного слоя привело к неполному уничтожению сорняков. Тем не менее, данное исследование показало, что «ЧО» сохранила запас продуктивной влаги, что дало прирост показателей структуры и самой урожайности озимой пшеницы Камышанка 4. Данные, обработанные в STATISTICA Application 10.0.0.0, подтверждают это теоретическое обоснование. Предположительно на варианте с «ЧО» рабочими органами Ранчо до 0,35 м с оборотом пласта на 0,12-0,15 м необходимо проводить дополнительные мероприятия в виде химической обработки по сорным растениям, чтобы компенсировать прирост урожайности зерна полевых культур.

Заключение

В результате изучения продуктивности озимой пшеницы в богарных условиях на светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья установлено, что в среднем за три года исследований с 2018 по 2020 гг. данные, обработанные в STATISTICA Application 10.0.0.0 и в Excel, дают теоретическое обоснование прямой зависимости факторов урожайности от обработок по всем факторам структуры почвы и засоренности, а также на структуру урожайности. Сделаны заключения о хорошей взаимосвязи использования определенного орудия обработки почвы от складывающихся определенных климатических условий. Во влажные годы 2018-2019 гг. себя отлично показал «ЧО» Ранчо на глубину 12-15 см, а в засушливый год в связи с созданием определенного водного режима и плотности почвы показал лучший результат «ОО» ПН-4-35 на глубину 0,20-0,22 см. Однако, наименьшее количество сорняков в посевах озимой пшеницы произрастало на варианте «ОО» 2,5-2,6 штук на метре квадратном.

В среднем за 2018-2020 гг. на этих вариантах биологическая урожайность составляла 3,97 т/га. Наименьшая биологическая урожайность озимой пшеницы отмечалась на варианте мелкой дисковой обработки без применения удобрений и в среднем за 3 года исследований равнялась 2,66 т/га.

Урожайность на данном варианте в среднем за 2018-2020 гг. составила 3,68 т/га. Урожайность зерна колебалась от 2,37 т/до 4,37 т/га в зави-

симости от климатических условий сельскохозяйственного года. Самый высокий урожай отмечен в 2019 г. на «ЧО» 4,37 т/га. Низкая урожайность получена в 2020 г. при «МО» – 2,37 т/га.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено при финансовой поддержке в рамках № ГЗ 122020100448-6 «Создание новых конкурентоспособных форм, сортов и гибридов культурных, древесных и кустарниковых растений с высокими показателями продуктивности, качества и повышенной устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды, новые инновационные технологии в семеноводстве и питомниководстве с учетом сортовых особенностей и почвенно-климатических условий аридных территорий Российской Федерации».

Список литературы

1. Анисимова Н.Н., Ионова Е.В. Элементы структуры урожая сортов ярового ячменя и их вклад в формирование высокой продуктивности растений // *Зерновое хозяйство России*. 2016. №5. С. 40-43.
2. Донцова А.А., Филиппов Е.Г., Донцов Д.П., Терновая Е.А. Производство ячменя в мире и России // *Зерновое хозяйство России*. 2016. №5. С. 47–51.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учеб. для выс. с.-х. уч. заведений. М.: Альянс, 2014. 351 с.
4. Маркова И.Н., Гузенко А.Ю., Солоникин А.В. Перспективы создания адаптивных сортов твердой пшеницы для Волгоградской области // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2021. №3(63). С. 141-151. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2021-03-04>
5. Матюшенко Л.В., Калюшина З.М., Лихачев Б.С. Методика определения силы роста семян. М.: МСХ СССР, Государственная семенная инспекция, 1983.
6. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск второй: зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. М., 1989. 197 с.
7. Москвичев А.Ю., Карпова Т.Л. Мкртчян, В.С., Гузенко А.Ю. Новые подходы в преддверии нашествия саранчи на волгоградских землях // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее*

- профессиональное образование. 2018. №1(49). С. 72-83. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2018-02-72-83>
8. Семинченко Е.В. Влияние способ обработки почвы на ее водно-физические свойства в условиях сухостепной зоны Нижнего Поволжья // *Агрохимия*. 2021. №12. С. 75-81. <https://doi.org/10.31857/S0002188121120139>
 9. Филенко Г. А., Фирсова Т. И., Скворцова Ю. Г., Филиппов Е. Г. Динамика посевных площадей и урожайности ярового ячменя в РФ // *Зерновое хозяйство России*. 2017. №5(53). С. 20–25.
 10. Ямщиков М.А., Пакуль В.Н. Влияние системы обработки на содержание продуктивной влаги в почве в Северной лесостепи Кузнецкой котловины // *МНИЖ*. 2022. №3 (117). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.117.3.048>
 11. Ali S.A., Tedone L., Verdini L., Cazzato E., De Mastro G. Wheat response to no-tillage and nitrogen fertilization in a long-term faba bean-based rotation // *Agronomy*. 2019. Vol. 9(2). P. 50. <https://doi.org/10.3390/agronomy9020050>
 12. Araki H., Hossain Md. A., Takahashi T. Waterlogging and hypoxia have permanent effects on wheat root growth and respiration // *J. Agro. Crop Sci*. 2012. Vol. 198 (4). P. 264-275. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2012.00510.x>
 13. Asseng S., Martre P., Maiorano A., Rötter R.P., O’Leary G.J., Fitzgerald G.J., Girousse C., Motzo R., Giunta F.B., Babar M.A. et al. Climate change impact and adaptation for wheat protein // *Glob. Chang. Biol*. 2019. Vol. 25(1). P. 155–173. <https://doi.org/10.1111/gcb.14481>
 14. Bancal M.O., Collin F., Gate P., Gouache D., Bancal P. Towards a global characterization of winter wheat cultivars behavior in response to stressful environments during grain-filling // *Eur. J. Agron*. 2022. Vol. 133. 126421. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126421>
 15. Baumhardt R.L., Jones O.R. Residue management and tillage effects on soil-water storage and grain yield of dryland wheat and sorghum for a clay loam in Texas // *Soil Till. Res*. 2002. Vol. 68 (2). P. 71-82. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00097-1](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00097-1)
 16. Brock C., Oberholzer H.-R., Franko U. Soil organic matter balance as a practical tool for environmental impact assessment and management support in arable farming // *Eur. J. Soil Sci*. 2017. Vol. 68 (6). P. 951-952. <https://doi.org/10.1111/ejss.12495>
 17. Benaragama D., Shirliffe S.J. Weed competition in organic and no-till conventional soils under nonlimiting nutrient conditions // *Weed Science*. 2020. Vol. 68(6). P. 654-663. <https://doi.org/10.1017/wsc.2020.57>
 18. Byamukama E., Ali S., Kleinjan J. et al. Winter wheat grain yield response to fungicide application is influenced by cultivar and rainfall // *Plant Pathol. J*. 2019. Vol. 35(1). P. 63-70. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.04.2018.0056>

19. Calzarano F., Stagnari F., D'Egidio S., Pagnani G., Galieni A., Di Marco S., Metruccio E.G., Pisante M. Durum wheat quality, yield and sanitary status under conservation agriculture // *Agriculture*. 2018. Vol. 8(9). P. 140. <https://doi.org/10.3390/agriculture8090140>
20. Cecilio Rebola L., Pandolfo Paz C., Valenzuela Gamarra L., F.R.P. Burslem D. Land use intensity determines soil properties and biomass recovery after abandonment of agricultural land in an Amazonian biodiversity hotspot // *Sci. Total Environ*. 2021. Vol. 801. 149487. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149487>
21. Dybzinski R., Fargione JE, Zak DR, Fornara D, Tilman D. Soil fertility increases with plant species diversity in a long-term biodiversity experiment // *Oecologia*. 2008. Vol. 158(1). P. 85–93. <https://doi.org/10.1007/s00442-008-1123-x>
22. Gallardo MP, Vicente-Serrano Sergio M., Quiring Steven, Svoboda Marc, Hanaford Jamie, Tomas-Burguera Miquel, Martín-Hernández Natalia, Domínguez-Castro Fernando, Kenawy Ahmed El. Response of crop yield to different time-scales of drought in the United States: Spatio-temporal patterns and climatic and environmental drivers // *Agric. For. Meteorol*. 2019. Vol. 264. P. 40–55. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.09.019>
23. Gandía M.L., Del Monte J.P., Tenorio J.L., Santín-Montanyá M.I. The influence of rainfall and tillage on wheat yield parameters and weed population in monoculture versus rotation systems // *Sci. Rep*. 2021. Vol. 11(1). 22138. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00934-y>
24. Gaweda D., Haliniarz M. Grain Yield and Quality of Winter Wheat Depending on Previous Crop and Tillage System // *Agriculture*. 2021. №11(2). P. 133. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020133>
25. Grigoras M.A., Popescu A., Pamfil D.C., Has I., Gidea M. Influence of no-tillage agriculture system and fertilization on wheat yield and grain protein and gluten contents // *J. Food Agric. Environ*. 2012. Vol. 10(2). P. 532–539.
26. Gusev Y.M., Dzhogan L.Y., Nasonova O.N. Modelling the impact of mulching the soil with plant remains on water regime formation, crop yield and energy costs in agricultural ecosystems // *Proc. IAHS*. 2018. Vol. 376. P. 77-82. <https://doi.org/10.5194/piahs-376-77-2018>
27. Hammerschmiedt T., Holatko J., Pecina V., Ahmed N., Brtnicky M. Assessing the potential of biochar aged by humic substances to enhance plant growth and soil biological activity // *Chem. Biol. Technol. Agric*. 2021. Vol. 8(1). P.46. <https://doi.org/10.1186/s40538-021-00242-7>
28. Hannusch HJ., Rogers WE., Lodge AG., Starns HD., Tolleson DR.. Semi-arid savanna herbaceous production and diversity responses to interactive effects of

- drought, nitrogen deposition, and fire // J. Veg. Sci. 2020. Vol. 31(2). P. 255–265. <https://doi.org/10.1111/jvs.12848>
29. Izotov A., Tarasenko B., Dudarev D. Growing grain of winter wheat without the use of herbicides // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 403(1). 012106. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/403/1/012106>
 30. Keler V.V., Martynova O.V. The yield structure elements variation of spring wheat variety “Novosibirskaya 31” at various farming levels // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 315(2). P. 022-033. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/2/022033>
 31. Kirkegaard J., Kirkby C., Oates A., Poile G., Conyers M. Strategic tillage of a long-term, no-till soil has little impact on soil characteristics or crop growth over five years // Crop and Pasture Sci. 2020. Vol. 71(12). P. 945-958. <https://doi.org/10.1071/CP20334>
 32. Latifmanesh H., Deng A., Nawaz M., Li L., Chen Z., Zheng Y., Wang P., Song Z., Zhang J., Zheng C Y., Zhang W J. Integrative impacts of rotational tillage on wheat yield and dry matter accumulation under corn–wheat cropping system // Soil & Tillage Research. 2018. Vol. 184. P. 100-108. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.07.008>
 33. Lam Y., Sze C.W., Tong Y., Ng T.B., Tang S.C.W., Ho J.C.M., Xiang Q., Lin X., Zhang Y. Research on the allelopathic potential of wheat // Agric. Sci. 2012. Vol. 3(8). P. 979–985. <https://doi.org/10.4236/as.2012.38119>
 34. Liu C., Yang H., Gongadze K., Harris P., Huang M., Wu L. Climate Change Impacts on Crop Yield of Winter Wheat (*Triticum aestivum*) and Maize (*Zea mays*) and Soil Organic Carbon Stocks in Northern China // Agriculture. 2022. Vol. 12(5). P. 614. <https://doi.org/10.3390/agriculture12050614>
 35. Liu H., Colombi T., Jäck O., Keller T., Weih M. Effects of soil compaction on grain yield of wheat depend on weather conditions // Sci. Total Environ. 2022. Vol. 807. 150763. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150763>
 36. Rebouh N. Y., Kucher D., Hezla L. et al. Influence of three cultivation technologies to control fusarium spp. in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) production under Moscow conditions // Research on Crops. 2020. №21(1). P. 17-25. <http://dx.doi.org/10.31830/2348-7542.2020.003>
 37. Santín-Montanyá M.I., Fernández-Getino A.P., Zambrana E. Effects of tillage on winter wheat . in Mediterranean dryland fields // Arid Land Res. Manag. 2017. Vol. 31(3). P. 269-282. <https://doi.org/10.1080/15324982.2017.1307289>
 38. Schlüter S., Großmann C., Diel J., Deubel A., Rücknagel J. Long-term effects of conventional and reduced tillage on soil structure, soil ecological and soil hydraulic properties // Geoderma. 2018. Vol. 332. P. 10-19. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.001>

39. Schneider F., Don A., Hennings I., Schmittmann O., Seidel S.J. The effect of deep tillage on crop yield – What do we really know? // *Soil & Tillage Research*. 2017. Vol. 174. P. 193-204. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2017.07.005>
40. Shen Y., McLaughlin N., Zhang X., Xu M., Liang A. Effect of tillage and crop residue on soil temperature following planting for a Black soil in Northeast China // *Sci. Rep.* 2018. Vol. 8(1). 4500. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22822-8>
41. Shrestha P., Karim R.A., Sieverding H.L., Graham C.J., Stone J.J. Life cycle assessment of wheat production and wheat-based crop rotations // *J. Environ. Qual.* 2020. Vol. 49(6). P. 1515-1529. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20158>
42. Singh M.K., Singh S., Prasad S.K. Weed suppression and crop yield in wheat after mustard seed meal aqueous extract application with reduced rate of isoproturon // *J. Agric. Food Res.* 2021. Vol. 6. 100235. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100235>
43. Soto-Gómez D., Pérez-Rodríguez P. Sustainable agriculture through perennial grains: Wheat, rice, maize, and other species. A review // *Agric, Ecosyst. Environ.* 2022. Vol. 325. P.107747. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107747>
44. Sperow M. What might it cost to increase soil organic carbon using no-till on U.S. cropland? // *Carbon Balance and Management*. 2020. Vol. 15(1). P. 26. <https://doi.org/10.1186/s13021-020-00162-3>
45. Teasdale J.R., Mohler C.L. Light transmittance, soil-temperature, and soil-moisture under residue of hairy vetch and rye // *Agron. J.* 1993. Vol. 85. P. 673–680. <https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500030029x>
46. Tomashova O., Osenniy N., Ilyin A. Cover crops as the main element of biology of agriculture in the no-till system for reproduction of soil fertility // *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 2104. 04010. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202021004010>
47. Triboi E., Triboi-Blondel A.M. Productivity and grain or seed composition: A new approach to an old problem—Invited paper // *Eur. J. Agron.* 2002. Vol. 16. P. 163–186. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(01\)00146-0](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(01)00146-0)
48. Weir A.H., Bragg P.L., Porter J.R., Rayner J.H. A winter wheat crop simulation model without water or nutrient limitations // *J. Agric. Sci.* 1984. Vol. 102. P. 371–382. <https://doi.org/10.1017/S0021859600042702>
49. Wozniak A., Rachon L. Effect of tillage systems on the yield and quality of winter wheat grain and soil properties // *Agriculture*. 2020. Vol. 10. P. 405. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090405>
50. Xue Jian-Fu, Ren Ai-Xia, Li Hui, Gao Zhi-Qiang, Du Tian-Qing. Soil physical properties response to tillage practices during summer fallow of dryland win-

- ter wheat field on the Loess Plateau // *Environ Sci Pollut Res.* 2018. Vol. 25. P. 1070–1078. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0684-9>
51. Yang C., Fraga H., van Ieperen W. Effects of climate change and adaptation options on winter wheat yield under rainfed Mediterranean conditions in southern Portugal // *Clim. Chang.* 2019. Vol. 154(1-2). P.159-178. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02419-4>
52. Zhang J., Wu L. Impact of Tillage and Crop Residue Management on the Weed Community and Wheat Yield in a Wheat – Maize Double Cropping System // *Agriculture.* 2021. Vol. 11. 265. <https://doi.org/10.3390/agriculture11030265>
53. Zhang L., Wang J., Fu G., Zhao Y. Rotary tillage in rotation with plowing tillage improves soil properties and crop yield in a wheat–maize cropping system // *PLoS ONE.* 2018. Vol. 13. P. 0198193. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198193>
54. Zelenev A.V., Pleskachev Yu.N., Seminchenko E.V. Crop rotations ensuring the greatest yields under dry conditions of the lower Volga region water – saving irrigation regimes for vegetable crop production under conditions of Volga – Don intereluvium // *Journal of Agronomy and Animal Industries.* 2018. Vol. 13(3). P. 216-223. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2018-13-3-216-223>
55. Zybarev Y.N., Fomin D.S. Modern approaches to adaptive tillage complexes in crop rotation and intensive land use in the Middle Urals // *E3S Web of Conferences.* 2020. Vol. 222. P.2058. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022202058>

References

1. Anisimova N.N., Ionova E.V. Elementy struktury urozhaya sortov yarovogo yachmenya i ih vklad v formirovanie vysokoj produktivnosti rastenij [Elementy struktury urozhaja sortov jarovogo yachmenja i ih vklad v formirovanie vysokoj produktivnosti rastenij]. *Zernovoe hozjajstvo Rossii* [Grain farm in Russia], 2016, no. 5, pp. 40-43.
2. Doncova A. A., Filippov E. G., Doncov D. P., Ternovaja E. A. Proizvodstvo jachmenja v mire i Rossii [Barley production in the world and Russia]. *Zernovoe hozjajstvo Rossii* [Grain farm in Russia], 2016, no. 5, pp. 47–51.
3. Dosphehov, B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij): ucheb.dlja vys. s.-h. uch. Zavedenij* [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results): textbook. S.-Kh. Uch. establishments]. M.: Al'jans, 2014, 351 p.
4. Markova I. N., Guzenko A.Ju., Solonikin A.V. *Perspektivy sozdaniya adaptivnyh sortov tverdoj pshenicy dlja Volgogradskoj oblasti* [Prospects for creating adaptive varieties of solid wheat for the Volgograd region] *Izvestija Nizhnev-*

- olzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Izvestia of the Nizhnevolzhsky agricultural university complex: science and higher professional education], 2021, vol. 63, no. 3, pp. 141-151. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2021-03-04>
5. Matjushenko L.V., Kaljushina Z.M., Lihachev B.S. *Metodika opredelenija sily rosta semjan* [Methodology for determining the growth strength of seeds]. M.: MSH SSSR, Gosudarstvennaja semennaja inspekcija, 1983.
 6. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozhajstvennyh kul'tur. Vypusk vtoroj: zernovye, krupjanye, zernobovovye, kukuruza i kormovye kul'tury* [Methods of state variety of agricultural crops. The second release: cereals, cereal, grain -bond, corn and fodder crops]. M., 1989, 197 p.
 7. Moskvichev A.Ju., Karpova T.L., Mkrтчan V.S., Guzenko A.Ju. *Novye podhody v preddverii nashestvija saranchi na volgogradskih zemljah lands* [New approaches on the eve of the invasion of locusts on the Volgograd]. *Izvestija Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Izvestia of the Nizhnevolzhsky agricultural university complex: science and higher professional education], 2018, vol. 49, no. 1, pp. 72-83. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2018-02-72-83>
 8. Seminchenko E.V. *Vlijanie sposob obrabotki pochvy na ee vodno-fizicheskie svojstva v uslovijah suhostepnoj zony Nizhnego Povolzh'ja* [Influence of the method of soil processing on its water-physical properties in the conditions of the Sukh-steppe zone of the Lower Volga]. *Agrohimija* [Agrochemistry], 2021, no.12, pp. 75-81.
 9. Filenko G.A., Firsova T.I., Skvorcova Ju.G., Filippov E.G. *Dinamika posevnyh ploshhadej i urozhajnosti jarovogo jachmenja v RF* [The dynamics of the sowing areas and yields of spring barley in the Russian]. *Zernovoe hozjajstvo Rossii* [Grain farm of Russia], 2017, vol. 53, no. 5, pp. 20–25
 10. Jamshhikov M.A., Pakul, V.N. *Vlijanie sistemy obrabotki na sodержanie produktivnoj vlagi v pochve v Severnoj lesostepi Kuzneckoj kotloviny* [The influence of the processing system on the content of productive moisture in the soil in the northern forest -steppe of the Kuznetsk basin]. *MNIZh*, 2022, no. №3 (117). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.117.3.048>
 11. Ali S.A., Tedone L., Verdini L., Cazzato E., De Mastro G. *Wheat response to no-tillage and nitrogen fertilization in a long-term faba bean-based rotation*. *Agronomy*. 2019, vol. 9(2), 50. <https://doi.org/10.3390/agronomy9020050>
 12. Araki H., Hossain Md. A., Takahashi T. *Waterlogging and hypoxia have permanent effects on wheat root growth and respiration*. *J. Agro. Crop Sci.*, 2012, vol. 198 (4), pp. 264-275. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2012.00510.x>

13. Asseng S., Martre P., Maiorano A., Rötter R.P., O'Leary G.J., Fitzgerald G.J., Girusse C., Motzo R., Giunta F.B., Babar M.A. et al. Climate change impact and adaptation for wheat protein. *Glob. Chang. Biol.*, 2019, vol. 25(1), pp. 155–173. <https://doi.org/10.1111/gcb.14481>
14. Bancal M.O., Collin F., Gate P., Gouache D., Bancal P. Towards a global characterization of winter wheat cultivars behavior in response to stressful environments during grain-filling. *Eur. J. Agron.*, 2022, vol. 133, 126421. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126421>
15. Baumhardt R.L., Jones O.R. Residue management and tillage effects on soil-water storage and grain yield of dryland wheat and sorghum for a clay loam in Texas. *Soil Till. Res.*, 2002, vol. 68 (2), pp. 71-82. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00097-1](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00097-1)
16. Brock C., Oberholzer H.-R., Franko U. Soil organic matter balance as a practical tool for environmental impact assessment and management support in arable farming. *Eur. J. Soil Sci.*, 2017, vol. 68 (6), pp. 951-952. <https://doi.org/10.1111/ejss.12495>
17. Benaragama D., Shirliff S.J. Weed competition in organic and no-till conventional soils under nonlimiting nutrient conditions. *Weed Science*, 2020, vol. 68(6), pp. 654-663. <https://doi.org/10.1017/wsc.2020.57>
18. Byamukama E., Ali S., Kleinjan J. et al. Winter wheat grain yield response to fungicide application is influenced by cultivar and rainfall. *Plant Pathol. J.*, 2019, vol. 35(1), pp. 63-70. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.04.2018.0056>
19. Calzarano F., Stagnari F., D'Egidio S., Pagnani G., Galieni A., Di Marco S., Metruccio E.G., Pisante M. Durum wheat quality, yield and sanitary status under conservation agriculture. *Agriculture*, 2018, vol. 8(9), 140. <https://doi.org/10.3390/agriculture8090140>
20. Cecilio Rebola L., Pandolfo Paz C., Valenzuela Gamarra L., F.R.P. Burslem D. Land use intensity determines soil properties and biomass recovery after abandonment of agricultural land in an Amazonian biodiversity hotspot. *Sci. Total Environ.*, 2021, vol. 801, 149487. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149487>
21. Dybzinski R., Fargione JE, Zak DR, Fornara D, Tilman D. Soil fertility increases with plant species diversity in a long-term biodiversity experiment. *Oecologia*, 2008, vol. 158(1), pp. 85–93. <https://doi.org/10.1007/s00442-008-1123-x>
22. Gallardo M.P., Vicente-Serrano Sergio M., Quiring Steven, Svoboda Marc, Hannaford Jamie, Tomas-Burguera Miquel, Martín-Hernández Natalia, Domínguez-Castro Fernando, Kenawy Ahmed El. Response of crop yield to different time-scales of drought in the United States: Spatio-temporal patterns and climatic and environmental drivers. *Agric. For. Meteorol.*, 2019, vol. 264, pp. 40–55. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.09.019>

23. Gandía M.L., Del Monte J.P., Tenorio J.L., Santín-Montanyá M.I. The influence of rainfall and tillage on wheat yield parameters and weed population in monoculture versus rotation systems. *Sci. Rep.*, 2021, vol. 11(1), 22138. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00934-y>
24. Gaweda D., Haliniarz M. Grain Yield and Quality of Winter Wheat Depending on Previous Crop and Tillage System. *Agriculture*, 2021, vol. 11(2), 133. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020133>
25. Grigoras M.A., Popescu A., Pamfil D.C., Has I., Gidea M. Influence of no-tillage agriculture system and fertilization on wheat yield and grain protein and gluten contents. *J. Food Agric. Environ.*, 2012, vol. 10(2), pp. 532–539.
26. Gusev Y.M., Dzhogan L.Y., Nasonova O.N. Modelling the impact of mulching the soil with plant remains on water regime formation, crop yield and energy costs in agricultural ecosystems. *Proc. IAHS*, 2018, vol. 376, pp. 77-82. <https://doi.org/10.5194/piahs-376-77-2018>
27. Hammerschmiedt T., Holatko J., Pecina V., Ahmed N., Brtnicky M. Assessing the potential of biochar aged by humic substances to enhance plant growth and soil biological activity. *Chem. Biol. Technol. Agric.*, 2021, vol. 8(1), 46. <https://doi.org/10.1186/s40538-021-00242-7>
28. Hannusch HJ., Rogers WE., Lodge AG., Starns HD., Tolleson DR.. Semi-arid savanna herbaceous production and diversity responses to interactive effects of drought, nitrogen deposition, and fire. *J. Veg.Sci.*, 2020, vol. 31(2), pp. 255–265. <https://doi.org/10.1111/jvs.12848>
29. Izotov A., Tarasenko B., Dudarev D. Growing grain of winter wheat without the use of herbicides // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, vol. 403(1), 012106. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/403/1/012106>
30. Keler V.V., Martynova O.V. The yield structure elements variation of spring wheat variety “Novosibirskaya 31” at various farming levels. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 315(2), pp. 022-033. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/315/2/022033>
31. Kirkegaard J., Kirkby C., Oates A., Poile G., Conyers M. Strategic tillage of a long-term, no-till soil has little impact on soil characteristics or crop growth over five years. *Crop and Pasture Sci.*, 2020, vol. 71(12), pp. 945-958. <https://doi.org/10.1071/CP20334>
32. Latifmanesh H., Deng A., Nawaz M., Li L., Chen Z., Zheng Y., Wang P., Song Z., Zhang J., Zheng C Y., Zhang W J. Integrative impacts of rotational tillage on wheat yield and dry matter accumulation under corn–wheat cropping system. *Soil & Tillage Research*, 2018, vol. 184, pp. 100-108. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.07.008>

33. Lam Y., Sze C.W., Tong Y., Ng T.B., Tang S.C.W., Ho J.C.M., Xiang Q., Lin X., Zhang Y. Research on the allelopathic potential of wheat. *Agric. Sci.*, 2012, vol. 3(8), pp. 979–985. <https://doi.org/10.4236/as.2012.38119>
34. Liu C., Yang H., Gongadze K., Harris P., Huang M., Wu L. Climate Change Impacts on Crop Yield of Winter Wheat (*Triticum aestivum*) and Maize (*Zea mays*) and Soil Organic Carbon Stocks in Northern China. *Agriculture*, 2022, vol. 12(5), 614. <https://doi.org/10.3390/agriculture12050614>
35. Liu H., Colombi T., Jäck O., Keller T., Weih M. Effects of soil compaction on grain yield of wheat depend on weather conditions. *Sci. Total Environ*, 2022, vol. 807, 150763. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150763>
36. Rebouh N. Y., Kucher D., Hezla L. et al. Influence of three cultivation technologies to control fusarium spp. in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) production under Moscow conditions. *Research on Crops*, 2020, vol. 21(1), pp. 17-25. <http://dx.doi.org/10.31830/2348-7542.2020.003>
37. Santín-Montanyá M.I., Fernández-Getino A.P., Zambrana E. Effects of tillage on winter wheat in Mediterranean dryland fields. *Arid Land Res. Manag.*, 2017, vol. 31(3), pp. 269-282. <https://doi.org/10.1080/15324982.2017.1307289>
38. Schlüter S., Großmann C., Diel J., Deubel A., Rücknagel J. Long-term effects of conventional and reduced tillage on soil structure, soil ecological and soil hydraulic properties. *Geoderma*, 2018, vol. 332, pp. 10-19. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.001>
39. Schneider F., Don A., Hennings I., Schmittmann O., Seidel S J. The effect of deep tillage on crop yield – What do we really know? *Soil & Tillage Research*, 2017, vol. 174, pp. 193-204. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2017.07.005>
40. Shen Y., McLaughlin N., Zhang X., Xu M., Liang A. Effect of tillage and crop residue on soil temperature following planting for a Black soil in Northeast China. *Sci. Rep.*, 2018, vol. 8(1), 4500. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22822-8>
41. Shrestha P., Karim R.A., Sieverding H.L., Graham C.J., Stone J.J. Life cycle assessment of wheat production and wheat-based crop rotations. *J. Environ. Qual.*, 2020, vol. 49(6), pp. 1515-1529. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20158>
42. Singh M.K., Singh S., Prasad S.K. Weed suppression and crop yield in wheat after mustard seed meal aqueous extract application with reduced rate of isoproturon. *J. Agric. Food Res.*, 2021, vol. 6, 100235. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100235>
43. Soto-Gómez D., Pérez-Rodríguez P. Sustainable agriculture through perennial grains: Wheat, rice, maize, and other species. A review. *Agric. Ecosyst. Environ*, 2022, vol. 325, 107747. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107747>
44. Sperow M. What might it cost to increase soil organic carbon using no-till on U.S. cropland? *Carbon Balance and Management*, 2020, vol. 15(1), 26. <https://doi.org/10.1186/s13021-020-00162-3>

45. Teasdale J.R., Mohler C.L. Light transmittance, soil-temperature, and soil-moisture under residue of hairy vetch and rye. *Agron. J.*, 1993, vol. 85, pp. 673–680. <https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500030029x>
46. Tomashova O., Osenniy N., Ilyin A. Cover crops as the main element of biologization of agriculture in the no-till system for reproduction of soil fertility. *E3S Web of Conferences*, 2020, vol. 2104, 04010. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202021004010>
47. Triboi E., Triboi-Blondel A.M. Productivity and grain or seed composition: A new approach to an old problem—Invited paper. *Eur. J. Agron.*, 2002, vol. 16, pp. 163–186. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(01\)00146-0](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(01)00146-0)
48. Weir A.H., Bragg P.L., Porter J.R., Rayner J.H. A winter wheat crop simulation model without water or nutrient limitations. *J. Agric. Sci.*, 1984, vol. 102, pp. 371–382. <https://doi.org/10.1017/S0021859600042702>
49. Wozniak A., Rachon L. Effect of tillage systems on the yield and quality of winter wheat grain and soil properties. *Agriculture*, 2020, vol. 10, 405. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090405>
50. Xue Jian-Fu, Ren Ai-Xia, Li Hui, Gao Zhi-Qiang, Du Tian-Qing. Soil physical properties response to tillage practices during summer fallow of dryland winter wheat field on the Loess Plateau. *Environ Sci Pollut Res.*, 2018, vol. 25, pp. 1070–1078. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0684-9>
51. Yang C., Fraga H., van Ieperen W. Effects of climate change and adaptation options on winter wheat yield under rainfed Mediterranean conditions in southern Portugal. *Clim. Chang.*, 2019, vol. 154(1-2), pp. 159-178. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02419-4>
52. Zhang J., Wu L. Impact of Tillage and Crop Residue Management on the Weed Community and Wheat Yield in a Wheat – Maize Double Cropping System. *Agriculture*, 2021, vol. 11, 265. <https://doi.org/10.3390/agriculture11030265>
53. Zhang L., Wang J., Fu G., Zhao Y. Rotary tillage in rotation with plowing tillage improves soil properties and crop yield in a wheat–maize cropping system. *PLoS ONE*, 2018, vol. 13, 0198193. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198193>
54. Zelenev A.V., Pleskachev Yu.N., Semnichenko E.V. Crop rotations ensuring the greatest yields under dry conditions of the lower Volga region water – saving irrigation regimes for vegetable crop production under conditions of Volga – Don intereluve RUDN. *Journal of Agronomy and Animal Industries*, 2018, vol. 13(3), pp. 216-223. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2018-13-3-216-223>
55. Zybarev Y.N., Fomin D.S. Modern approaches to adaptive tillage complexes in crop rotation and intensive land use in the Middle Urals. *E3S Web of Conferences*, 2020, vol. 222, 2058. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022202058>

ВКЛАД АВТОРОВ

Гузенко А.Ю.: отработка технологий, ведение наблюдений и мероприятий по обработкам.

Солонкин А.В.: куратор мероприятий.

Беляев А.И.: методология.

Семинченко Е.В.: анализ и математическая обработка.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Alexey Yu. Guzenko: development of technologies, observation and processing activities.

Andrey V. Solonkin: event curator.

Alexandr I. Belyaev: methodology.

Elena V. Seminchenko: analysis and mathematical processing.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Гузенко Алексей Юрьевич, м.н.с., соискатель

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН)*

*Университетский проспект, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
guzenko.family@mail.ru*

Солонкин Андрей Валерьевич, д. с.-х. наук

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН)*

*Университетский проспект, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
mishatax73@mail.ru*

Беляев Александр Иванович, д.с.-х. наук

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН)*

Университетский проспект, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
guzenko-ay@yfacn.ru

Семиначенко Елена Валерьевна, н.с., соискатель

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН)*
Университетский проспект, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
eseminchenko@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Alexey Yu. Guzenko, Researcher, Postgraduate Student

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences
97, Universitetskiy prospect, Volgograd, 400062, Russian Federation
SPIN-code: 5246-9350
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3852-5358>

Andrey V. Solonkin, Doctor of Agricultural Sciences

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences
97, Universitetskiy prospect, Volgograd, 400062, Russian Federation
mishamax73@mail.ru
SPIN-code: 8724-5383
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1576-7824>

Alexandr I. Belyaev, Doctor of Agricultural Sciences

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences
97, Universitetskiy prospect, Volgograd, 400062, Russian Federation
guzenko-ay@yfacn.ru
SPIN-code: 8733-7587
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1576-7824>

Elena V. Seminchenko, Researcher, Postgraduate Student

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences

97, Universitetskiy prospect, Volgograd, 400062, Russian Federation

eseminchenko@mail.ru

SPIN-code: 2756-2340

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3155-9563>

Scopus Author ID: 5722214627

Поступила 30.09.2022

После рецензирования 27.10.2022

Принята 24.11.2022

Received 30.09.2022

Revised 27.10.2022

Accepted 24.11.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-125-138

УДК 528.8:631.1



Научная статья | Геоморфология

СОЗДАНИЕ БАЗЫ ГЕОДАНЫХ ГЕОМОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЛЬЕФА НА ПРИМЕРЕ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

А.И. Павлова

Традиционные методы качественного описания рельефа, применяемые в ходе ландшафтного анализа, районирования, прогнозирования развития экзогенных процессов, оценки сельскохозяйственных земель не позволяют объективно выделить формы рельефа, выявить статистически достоверные связи между показателями рельефа и компонентами геосистем. Для агроэкологической оценки и группировки земель с применением методов автоматической классификации необходимо построение базы геоданных количественных показателей рельефа. При региональных исследованиях для разработки базы геоданных геоморфометрических показателей рельефа наиболее актуальны космические снимки высокого и среднего пространственного разрешения.

Обоснование. *Большое практическое значение для автоматизированного картографирования форм и типов рельефа имеют количественные показатели рельефа. В процессе региональной классификации (группировки) сельскохозяйственных земель часто используют усредненные показатели рельефа. В зарубежной литературе для классификации сельскохозяйственных земель часто применяют комбинированные топографические индексы. Научная значимость исследований связана с современными методами геоморфометрического анализа рельефа на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗ) и их применения для автоматизированного картографирования типов рельефа.*

Цель работы – создание базы геоданных (БГД) геоморфометрических параметров рельефа Новосибирской области на основе спутниковых данных.

Материалы и методы. В работе использованы методы цифрового моделирования рельефа и геоморфометрии.

Результаты. В работе создана БГД геоморфометрических параметров рельефа с использованием космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения ALOP PALSAR (12,5 м/пиксел) и ALOS DSM (30 м/пиксел), топографических карт М1:25000. БГД рельефа на примере Новосибирской области включает тематические морфометрические карты и атрибутивные таблицы. БГД использована для картографирования типов рельефа на территории агроландшафтов Новосибирской области. В результате автоматической классификация типов рельефа с применением алгоритмов без учителя K-Nearest Neighbor (KNN или k-NN, ближайших соседей) и итеративного самоорганизующегося алгоритма ISODATA (Self-Organizing Data Analysis) были картографированы типы рельефа на территории Новосибирской области. Входными данными для классификации типов рельефа служили параметры рельефа и вегетационные индексы NDVI, EVI, OSAVI, TSAVI, вычисленные на основе мультиспектральных космических снимков Sentinel-2 A. На примере Приобского центрально-лесостепного агроландшафта охарактеризованы типы рельефа и связанные с ними группы сельскохозяйственных земель: водораздельный дренированный нерасчлененный плоско-равнинный, приводораздельный дренированный слаборасчлененный, междуречный недренированный плоско-заболоченный. Основными рельефообразующими процессами на территории Приобского центрально-лесостепного агроландшафта являются плоскостной смыв и заболачивание.

Заключение. Современные методы геоморфометрии и геоинформатики позволяют на основе дистанционной информации создавать пространственные базы данных геоморфометрических параметров для комплексной оценки сельскохозяйственных земель. Использование БГД геоморфометрических параметров рельефа и вегетационных индексов позволило выполнить автоматизированное картографирование типов рельефа.

Ключевые слова: пространственная база данных; геоинформационная система; сельскохозяйственные земли; геоморфометрия; морфометрические показатели рельефа; топографические индексы

Для цитирования. Павлова А.И. Создание базы геоданных геоморфометрических параметров рельефа на примере Новосибирской области с применением космических снимков // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №2. С. 125-138. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-125-138

Original article | Geomorphology

CREATION OF A GEODATABASE ON GEOMORPHOMETRIC PARAMETERS OF THE RELIEF BY THE EXAMPLE OF THE NOVOSIBIRSK REGION USING SATELLITE IMAGES

A.I. Pavlova

Traditional methods of qualitative description of relief used in the process of landscape analysis, zoning, forecasting of exogenous processes, assessment of agricultural land do not allow to distinguish objectively forms of relief, to reveal statistically reliable relations between relief indicators and components of geosystems. For agro-ecological evaluation and land grouping with the help of modern methods of data classification, a geodatabase with quantitative indicators of relief is needed. Space images of high and medium spatial resolution are necessary for formation of geodata base of geomorphometric indicators during regional researches.

Background. *Quantitative (geomorphometric) indicators of relief are of great practical importance when identifying and describing landforms and relief elements. One or two indicators are often used for agricultural land assessment. In foreign literature various combined topographic indices are widely used for land classification. The scientific significance of the research is associated with modern methods of geomorphometric analysis of the relief based on remote sensing data and their application for automated mapping of relief types.*

Purpose. *Creation of a geodatabase (GDB) of geomorphometric parameters of the Novosibirsk region on the basis of satellite data.*

Materials and methods. *Digital modeling and geomorphometry methods were used in the work.*

Results. *The database of geomorphometric parameters of the relief with the use of middle and high spatial resolution space images ALOP PALSAR (12.5 m/pixel) and ALOS DSM (30 m/pixel), topographic maps of M 1:25000 were developed. A geodatabase of geomorphometric parameters of the relief by the example of the Novosibirsk Region was developed including GIS information layers with geomorphometric parameters of the relief and attribute tables. The LGB has been used to map the types of relief in the Novosibirsk Region agrolandscapes. Automatic classification of relief types using multispectral images of K-Nearest Neighbor (KNN*

or *k*-NN, nearest neighbor) teacherless algorithms and the iterative self-organizing algorithm ISODATA (Self-Organizing Data Analysis) were performed. The input raster data for the terrain type classification were terrain parameters and vegetation indices NDVI, EVI, OSAVI, TSAVI, determined on the basis of multispectral satellite images Sentinel-2 A. By the example of Priobskiy central forest-steppe agrolandscape mapping of relief types was carried out: watershed drained undrained flat-leveled, watershed drained weakly drained, interfluvial undrained flatwaterlogged. The main relief-forming processes in the Priobskoye central forest-steppe agro-landscape are planar washout and waterlogging.

Conclusion. Modern methods of geomorphometry and geoinformatics allow you to create a spatial database of geomorphometric parameters for a comprehensive assessment of the land on the basis of remote information. The use of a geomorphometric database of geomorphometric parameters of relief and vegetation indices made it possible to carry out mapping of relief types for the Novosibirsk region agrolandscapes.

Keywords: spatial database; geodatabase; geographic information system; agricultural land; geomorphometry; morphometric indicators of relief; topographic indices

For citation. Pavlova A.I. Creation of a Geodatabase on Geomorphometric Parameters of the Relief by the Example of the Novosibirsk Region using Satellite Images. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 125-138. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-125-138

Геоинформационное обеспечение агрономических ГИС направлено на оценку природно-территориальных условий и негативных факторов в агроландшафтах, разработку адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Базы геоданных агрономических ГИС необходимы для хранения пространственных данных, получения новой информации для рационального территориального управления [6]. Наиболее часто для оценки сельскохозяйственных земель в отечественной литературе используют только региональные морфометрические величины (крутизну склонов, глубину базисов эрозии, горизонтальное расчленение рельефа). Большое практическое значение при оценке земельных и почвенных ресурсов имеют количественные (геоморфометрические) показатели рельефа. Данные параметры применяют для классификации элементов рельефа [13-17, 19, 22], картографирования эрозионных земель [11, 12]. При этом для классификации в последнее время привлекают автоматизированные алгоритмы машинного обучения [20, 21]. Для суждения степени развития экзогенных процессов

в литературе часто применяют локальные и комбинированные морфометрические величины [2, 5, 8-9]. Научная значимость исследований связана с современными методами геоморфометрического анализа рельефа на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ) и их применения для автоматизированного картографирования типов рельефа. При этом большое практическое значение имеют космические снимки высокого пространственного разрешения.

Геоморфометрический анализ рельефа на основе ДДЗЗ является одной из основных составляющих агроэкологической оценки сельскохозяйственных земель по следующим причинам:

- доступность материалов для научно-исследовательских работ;
- информация, получаемая в результате цифрового моделирования и пространственного анализа данных имеет актуальный характер о рельефе, объемах топографии, сельскохозяйственных землях на изучаемой территории;
- охват больших территорий, позволяющий осуществлять региональные исследования территории агроландшафтов;
- объективность вычисления количественных параметров рельефа.

Целью исследований являлось создание пространственной базы геоданных (БГД) геоморфометрических параметров рельефа на примере Новосибирской области на основе спутниковых данных.

Методы исследований

В работе использованы методы классификации, геоморфометрии и геоинформационного анализа данных. В качестве исходных данных использованы 43 снимка ALOS DMS формата MEDIAN (спутник ALOS DAICHI, Япония). Отдельный снимок имеет размер 1° по широте и 1° по долготе, характеризуется пространственным разрешением ячейки растровой модели $1''$ (примерно 30 м) и глубиной пиксела 16-bit. Используются файлы-маски с отображением водных объектов (16-bit файлы в формате GeoTIFF), текстовые файлы, содержащие вспомогательную информацию.

Для создания и количественной оценки рельефа служили архивные радарные снимки высокого пространственного разрешения (с 2007 по 2010 гг.). ALOS PALSAR (Advanced Land Observing Satellite) и космические мультиспектральные снимки Sentinel-2A. Искусственный спутник ALOS (японского аэрокосмического агентства JAXA) оснащен поляриметрическим радаром с решеткой L-диапазона с синтезированной апертурой (PALSAR). Использование данного активного микроволнового датчика позволяет выполнять космическую съемку независимо от погодных условий

и освещенности (PALSAR, 2022). Радиолокационные космические снимки используются для решения широкого круга задач, позволяющих дешифровать объекты топографии, но при этом имеют особенности. В настоящей работе снимки ALOS PALSAR использованы для получения уникальной информации о состоянии объектов топографии в дополнении к существующим топографическим картам (М 1:25000 и 1:50000) и космическим снимкам сверхвысокого разрешения открытых картографических сервисов Google Maps и Bing Maps.

Дешифрирование объектов топографии и типов рельефа производилось на основе космических мультиспектральных снимков Sentinel-2A (с 2018 по 2021 гг.). Снимки Sentinel-2, покрывают значительные части территории земной и водной поверхности, площадью до 290 км. Снимки характеризуются хорошим радиометрическим, временным и спектральным разрешением. Наличие 13 спектральных каналов в диапазоне электромагнитных длин волн от 443 до 2190 нм (включая три канала, предназначенные для атмосферной коррекции), в панхроматическом диапазоне длин волн – 10 нм, и тепловом – 60 нм позволяет картографировать земную поверхность с использованием различных вегетационных индексов.

Научная новизна исследований состоит в интегрированном применении методов машинного обучения без учителя, ГИС и ДДЗЗ для автоматизированного картографирования типов рельефа. Входными данными для кластеризации служили количественные параметры рельефа и вегетационные индексы NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), EVI2 (Enhanced Vegetation Index), OSAVI (Optimized Soil Adjusted Vegetation Index), TSAVI (Transformed Soil Adjusted Vegetation Index) [7]. Процедура автоматической классификации типов рельефа была реализована с применением инженерных библиотек Python (Sklearn, Pandas, NumPy, Isodata) алгоритмами без учителя K-Nearest Neighbor (KNN или k-NN, ближайших соседей) и итеративного самоорганизующегося алгоритма ISODATA (Self-Organizing Data Analysis). В качестве количественных параметров рельефа в работе использованы локальные (поле-специфичные), нелокальные (поле-игнорирующие) и комбинированные (интегральные) морфометрические величины (табл.1). Крутизна склонов вычислялась с использованием алгоритма, L.W. Zevenbergen и C.R. Thorne [23]. Индекс LS (Slope Length and Steepness factor, LS-фактор) широко используется в качестве одного из основных параметров при моделировании эрозионных процессов и вычисляется по формуле [10]:

$$LS = (m + 1) \left(\frac{As}{22,13} \right)^n \sin \left(\frac{\beta}{0,0896} \right), \quad (1)$$

где As – водосборная площадь, m^2 ; β – угол наклона, $^\circ$; m – показатель площади (устанавливается равным 4); n – показатель уклона (устанавливается равным 1,3) [10,18].

Глубина вреза речных долин (Valley Depth, VD) использована в качестве показателя оценки степени развития эрозионных процессов и определяется как разность высот между ячейками раstra исходной цифровой модели рельефа и некоторым интерполированным уровнем с наибольшими высотами (от англ. interpolated ridge level) [10].

Результаты исследований

Исследования выполнены для территории Новосибирской области, расположенной в центральной части материка Евразия на юго-востоке Западно-Сибирской низменности. Протяжённость Новосибирской области с запада на восток составляет более 600 км, а с севера на юг – до 400 км [1, 3, 4]. Площадь территории исследований составила от 53° до 58° с.ш., от 75° до 85° в.д. (177,8 тыс. km^2). При использовании космических снимков выполнена коррекция цифровой модели рельефа, служившей основой для создания пространственной БГД геоморфометрических параметров рельефа. БГД разработана с использованием полнофункциональной географической информационной системы ArcGIS 10 и концептуально включает несколько наборов классов пространственных объектов: климат, рельеф, гидрография, административное деление, агроландшафты, почвы. В табл. 1 отображено содержание БГД геоморфометрических параметров рельефа. Класс пространственных объектов описан в виде совокупности однотипных объектов, имеющих одинаковое пространственное представление и общий набор атрибутивных полей БГД.

В результате автоматизированной классификации с применением алгоритмов автоматической классификации K-Nearest Neighbor и ISODATA были картографированы типы рельефа в границах агроландшафтов Новосибирской области. Ниже представлены результаты на примере центрально-лесостепного Приобского агроландшафта, относящегося к пониженной равнине юго-востока Западно-Сибирской низменности с абсолютными высотами над уровнем моря до 240 м. На территории центрально-лесостепного Приобского агроландшафта выделены типы рельефа: водораздельный дренированный нерасчлененный равнинный, приводораздельный дренированный слаборасчлененный, междуречный недренированный плоско-заболоченный.

Таблица 1.

Фрагмент БГД геоморфометрических параметров рельефа

Набор классов пространственных данных	Класс пространственных данных	Представление, геометрический тип данных	Содержание
relief	goris	векторный (линейный)	горизонтали
	height	векторный (точечный)	высоты точек
	Dem1	растровый	гидрологически корректная ЦМР
	LS	растровый	LS-фактор
	Aspect	растровый	экспозиция склонов
	Slope	растровый	крутизна склонов
	CI	растровый	индекс конвергенции/дивергенции
	TRI	растровый	индекс расчлененности рельефа
	TCl	растровый	топографический составной индекс
	NH	растровый	нормализованная высота
	kv	растровый	вертикальная кривизна
	kmax	растровый	максимальная кривизна
ka	растровый	аккумуляционная кривизна	
gidrograf	rivers	векторный (линейный)	гидрографическая сеть
	erosion_net	векторный (линейный)	эрозионная сеть
	likes	векторный (полигональный)	озера, пруды, водохранилище
	watershed	векторный (полигональный)	водосборные бассейны
	flow_accum	растровый	карта кумулятивного стока
	flow_dir	растровый	карта направления стока
	TWI	растровый	индекс влажности
	VD	растровый	глубина вреза речных долин

Водораздельный дренированный нерасчлененный равнинный тип рельефа приурочен к плоским (субгоризонтальным) поверхностям рельефа и вершинам очень пологих склонов водоразделов. Это хорошо дренируемые территории с вертикальной кривизной поверхности близкой к нулю, местными базами эрозии 20-26 м, горизонтальным расчленением рельефа до 0,3 км/км². Здесь не проявляются негативные экзогенные факторы

рельефа, связанные заболачиваем и водной эрозией почв. Топографические индексы TWI и LS-фактора характеризуются минимальными значениями близкими к нулю. Расчлененность рельефа отсутствует, значение TRI составило менее 0,2. Плакорные сельскохозяйственные земли, приуроченные к данному типу рельефа вовлечены в сельскохозяйственное производство и используются под пашню или сенокосы.

Приводораздельный дренированный слаборасчлененный тип рельефа. При картографировании данного типа рельефа дешифрируются эрозионные формы рельефа на очень пологих, пологих и покатых склонах. На сельскохозяйственных землях данной группы земель проявляются негативные экзогенные процессы водной эрозии почв. Эрозионные формы рельефа дешифрируются визуально по синтезированным космическим мультиспектральным снимкам. Эрозионные ложбины стока имеют вид параллельных линий, имеющих направление в сторону реки. В местах проявления плоскостного смыва почв тон изображения меняется на более светлый. Рисунок горизонталей ЦМР имеет древовидный рисунок.

Склоновые сельскохозяйственные земли характеризуется следующими геоморфометрическими показателями рельефа: глубина местных базисов эрозии составляет 14-22 м, горизонтальное расчленение рельефа 0,3-0,6 км/км², LS-фактор изменяется от 0,10 до 0,60. Индекс расчлененности рельефа увеличивается в южной части агроландшафта до величины 0,76. В северной части агроландшафта преобладают с крутизной до 3. В южной части агроландшафта расчлененность рельефа возрастает, здесь большей частью распространены слабонаклонные равнины с очень пологими склонами (3-5°) и слабопокатыми склонами (5-7°). TRI характеризуется наибольшими величинами от 0,8 до 1.

Пойменные земли дешифрируются по наиболее пониженным участкам пойм и долинам рек, занимают плохо дренируемые участки с глубиной базисов эрозии 1-3 м. На вогнутых и плоских поверхностях рельефа вертикальная кривизна принимает отрицательные значения или близкие к нулю, топографический индекс влажности характеризуется величинами 14-16, значения LS-фактора близки к 0,012. Основными ограничивающими факторами является переувлажнение почв.

Междуречный плоско-заболоченный недренированный тип рельефа характеризуется распространением западин. Западины заняты болотами разнообразной формы. Здесь проявляются негативные экзогенные процессы заболачивания территории. Сельскохозяйственные земли используются под сенокосы и характеризуются следующими геоморфометрическими пара-

метрами рельефа: угол наклона рельефа изменяется незначительно от 0 до $0,5^\circ$, глубина базисов эрозии составляет от 1-5 м, топографический индекс влажности изменяется от 12 до 16, значения LS-фактора близки к нулю.

Заключение

Разработана БГД геоморфометрических параметров рельефа на основе спутниковых снимков высокого и среднего пространственного разрешения, а также топографических карт М 1:25000.

В результате интегрированного применения методов автоматического дешифрирования и геоморфометрии картографированы типы рельефа и группы сельскохозяйственных земель, вычислены количественные показатели рельефа агроландшафтов Новосибирской области. Одним из направлений практического применения БГД геоморфометрических параметров рельефа является геоинформационное моделирование типизации сельскохозяйственных земель, водной эрозии почв для региональных исследований.

Список литературы

1. Атлас Новосибирской области / Федер. служба геодезии и картографии России; сост. и подгот. ФГУП Новосиб. картогр. фабрика Роскартографии в 1999-2001 гг. 2-е изд. Москва: Роскартография, 2002. 56 с.
2. Безгодова О.В., Истомина Е.А., Овчинникова Е.В. Оценка и картографирование Мондинской котловины на основе морфометрического ландшафтного анализа // Геодезия и картография. 2018. №8. С. 28-37.
3. География Новосибирской области: учеб. пособие для общеобразоват. учреждений / В. М. Кравцов, Р. П. Донукалова. 3-е изд., испр. и доп. Новосибирск: ИНФОЛИО-пресс, 1999. 208 с.
4. Природа Новосибирской области / Т. А. Горелова и др. Новосиб. гос. пед. ун-т. Новосибирск: НГПУ, 2011. 159 с.
5. Безгодова О.В., Распутина Е.А. Автоматизированное картографирование опасных экзогенных процессов тункинской котловины с применением ГИС-технологий // Геодезия и картография, 2020. Т. 81. №3. С.8-20. <https://doi.org/10.22389/0016-7126-2020-957-3-8-20>
6. Павлова А.И. Пространственные базы данных агрономических геоинформационных систем // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13. № 5. С. 336-349. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-5-336-349>
7. Павлова А.И. Применение вегетационных индексов для цифрового почвенного картографирования на основе космических снимков Sentinel-2 //

- Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. T. 13. № 6. C. 119-131. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-119-131>
8. Amatulli G., Domisch S., Tuanmu M.-N. at all. Data descriptor: A suite of global, cross-scale topographic variables for environmental and biodiversity modeling // *Scientific Data*, 2018, no. 5, 180040. <https://www.nature.com/articles/sdata201840>
 9. Chu H.-J., Chen Y.-C., Ali M.Z., Hofle B. Multi-Parameter Relief Map from High-Resolution DEMs: A Case Study of Mudstone Badland // *International Journal of Environmental Research Public Health*, 2019, vol. 16, no. 7, 1109. <https://doi.org/10.3390/ijerph16071109>
 10. *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications* /Eds. T. Hengl, H. I. Reuter. Ser.: *Developments in Soil Science*, vol. 33. Elsevier. Ch. 1: *Geomorphometry: A brief guide* / R. J. Pike, I. S. Evans, T. Hengl. 2009, pp. 3–30.
 11. Gomez-Gutierrez A., Conoscenti C., Angileri S.E., Rotigliano E., Schnabel S. Using topographical attributes to evaluate gully erosion proneness (susceptibility) in two mediterranean basins: Advantages and limitations // *Natural Hazards*, 2015, no. 79, pp. 291–S314. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1703-0>
 12. Hurst M.D., Mudd S.M., Walcott R., Attal M., Yoo K. Using hilltop curvature to derive the spatial distribution of erosion rates // *Journal of Geophysical Research Earth Surface*, 2012, no. 117: F2. <https://doi.org/10.1029/2011JF002057>
 13. Iwahashi, J., Kamiya, I., Matsuoka, M. et al. Global terrain classification using 280 m DEMs: segmentation, clustering, and reclassification // *Progress in Earth and Planetary Science*, 2018, no. 5. <https://doi.org/10.1186/s40645-017-0157-2>
 14. Jenness J. Topographic Position Index (tpi_jen.avx) extension for ArcView 3.x, v. 1.3a. Jenness Enterprises. 2006. <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>
 15. Macêdo R.J.A., Pereira N.S., Manso V.A.V. Morphometric analysis of the Inner Continental Shelf in northeastern Brazil for seabed geomorphic classification // *Journal of South American Earth Sciences*, 2020, vol. 104, 102847. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102847>
 16. Minár J., Jenčo M., Evans I.S., Minár J., Jr, Kadlec M., Krcho J., Pacina J., Burián L., Benová A. Third-order geomorphometric variables (derivatives): Definition, computation and utilization of changes of curvatures // *International Journal Geographical Information Science*, 2013, no. 27, pp. 1381–1402. <https://doi.org/10.1080/13658816.2013.792113>
 17. Mokarram M., Roshan G. Negahban S. Landform classification using topography position index (case study: salt dome of Korsia-Darab plain, Iran) // *Modeling Earth System Environment*, 2015, no. 1, 40. <https://doi.org/10.1007/s40808-015-0055-9>

18. Moore I.D., Grayson R.B., Ladson A.R. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications // *Hydrological Processes*, 1991, vol. 5, no. 1, pp. 3–30. <https://doi.org/10.1002/hyp.3360050103>
19. Saadat H, Bonnell R, Sharifi F, Mehuys G, Namdar M, Ale-Ebrahim S Landform classification from a digital elevation model and satellite imagery // *Geomorphology*, 2008, no. 100, pp. 453–464.
20. Schmidt J., Hewitt A. Fuzzy land element classification from DTMs based on geometry and terrain position // *Geoderma*, 2004. no.121, pp. 243–256.
21. Wang X.-N., Zhang Q., Wang F.-G., Gao Y. Research on the technology of terrain classification and change detection based on deep learning // *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, vol. 1601, article number 2. *Computer Science and Engineering Technology*, Ser. 1601, 032056. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1601/3/032056>
22. Weiss A. Topographic position and landforms analysis .2001. In: Poster presentation, ESRI user conference, San Diego, CA. http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc_18x22.pdf
23. Zevenbergen L.W., Thorne C.R. Quantitative analysis of land surface topography // *Earth Surf. Process. Landf.*, 1987, no. 12, pp. 47–56. <https://doi.org/10.1002/esp.3290120107>

References

1. Atlas of the Novosibirsk Region / Federal Service of Geodesy and Cartography of Russia; comp. and prepare. Novosib. cartographic factory of Roskartografiya in 1999-2001. Moscow: Roskartografiya, 2002, 56 p.
2. Bezdodova O.V., Istomina E.A., Ovchinnikova E.V. *Geodeziya i kartografiya*, 2018, no. 8, pp. 28-37.
3. *Geografiya Novosibirskoy oblasti* [Geography of the Novosibirsk region] / V. M. Kravtsov, R. P. Donukalova. Novosibirsk: INFOLIO-press, 1999, 208 p.
4. *Priroda Novosibirskoy oblasti* [Nature of the Novosibirsk region] / T. A. Gorelova et al. Novosibirsk: NGPU, 2011, 159 p.
5. Bezdodova O.V., Rasputina E.A. *Geodeziya i kartografiya*, 2020, vol. 81, no. 3, pp. 8-20. <https://doi.org/10.22389/0016-7126-2020-957-3-8-20>
6. Pavlova A.I. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 5, pp. 336-349. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-5-336-349>
7. Pavlova A.I. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 6, pp. 119-131. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-119-131>
8. Amatulli G., Domisch S., Tuanmu M.-N. at all. Data descriptor: A suite of global, cross-scale topographic variables for environmental and biodiversity mod-

- eling. *Scientific Data*, 2018, no. 5, 180040. <https://www.nature.com/articles/sdata201840>
9. Chu H.-J., Chen Y.-C., Ali M.Z., Hofile B. Multi-Parameter Relief Map from High-Resolution DEMs: A Case Study of Mudstone Badland. *International Journal of Environmental Research Public Health*, 2019, vol. 16, no. 7, 1109. <https://doi.org/10.3390/ijerph16071109>
 10. Geomorphometry: Concepts, Software, Applications /Eds. T. Hengl, H. I. Reuter. Ser.: Developments in Soil Science, vol. 33. Elsevier. Ch. 1: Geomorphometry: A brief guide / R. J. Pike, I. S. Evans, T. Hengl. 2009, pp. 3–30.
 11. Gomez-Gutierrez A., Conoscenti C., Angileri S.E., Rotigliano E., Schnabel S. Using topographical attributes to evaluate gully erosion proneness (susceptibility) in two mediterranean basins: Advantages and limitations. *Natural Hazards*, 2015, no. 79, pp. 291–S314. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1703-0>
 12. Hurst M.D., Mudd S.M., Walcott R., Attal M., Yoo K. Using hilltop curvature to derive the spatial distribution of erosion rates. *Journal of Geophysical Research Earth Surface*, 2012, no. 117: F2. <https://doi.org/10.1029/2011JF002057>
 13. Iwahashi, J., Kamiya, I., Matsuoka, M. et al. Global terrain classification using 280 m DEMs: segmentation, clustering, and reclassification. *Progress in Earth and Planetary Science*, 2018, no. 5. <https://doi.org/10.1186/s40645-017-0157-2>
 14. Jenness J. Topographic Position Index (tpi_jen.avx) extension for ArcView 3.x, v. 1.3a. Jenness Enterprises. 2006. <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>
 15. Macêdo R.J.A., Pereira N.S., Manso V.A.V. Morphometric analysis of the Inner Continental Shelf in northeastern Brazil for seabed geomorphic classification. *Journal of South American Earth Sciences*, 2020, vol. 104, 102847. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102847>
 16. Minár J., Jenčo M., Evans I.S., Minár J., Jr, Kadlec M., Krcho J., Pacina J., Burián L., Benová A. Third-order geomorphometric variables (derivatives): Definition, computation and utilization of changes of curvatures. *International Journal Geographical Information Science*, 2013, no. 27, pp. 1381–1402. <https://doi.org/10.1080/13658816.2013.792113>
 17. Mokarram M., Roshan G. Negahban S. Landform classification using topography position index (case study: salt dome of Korsia-Darab plain, Iran). *Modeling Earth System Environment*, 2015, no. 1, 40. <https://doi.org/10.1007/s40808-015-0055-9>
 18. Moore I.D., Grayson R.B., Ladson A.R. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. *Hydrological Processes*, 1991, vol. 5, no. 1, pp. 3–30. <https://doi.org/10.1002/hyp.3360050103>
 19. Saadat H, Bonnell R, Sharifi F, Mehuys G, Namdar M, Ale-Ebrahim S Landform classification from a digital elevation model and satellite imagery. *Geomorphology*, 2008, no. 100, pp. 453–464.

20. Schmidt J., Hewitt A. Fuzzy land element classification from DTMs based on geometry and terrain position. *Geoderma*, 2004, no. 121, pp. 243–256.
21. Wang X.-N., Zhang Q., Wang F.-G., Gao Y. Research on the technology of terrain classification and change detection based on deep learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, vol. 1601, 2. Computer Science and Engineering Technology, Ser. 1601, 032056. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1601/3/032056>
22. Weiss A. Topographic position and landforms analysis .2001. In: Poster presentation, ESRI user conference, San Diego, CA. http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc_18x22.pdf
23. Zevenbergen L.W., Thorne C.R. Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surf. Process. Landf.*, 1987, no. 12, pp. 47–56. <https://doi.org/10.1002/esp.3290120107>

ДАнные ОБ АВТОРЕ

Павлова Анна Илларионовна, кандидат технических наук, доцент
Новосибирский государственный университет экономики и управления
ул. Каменская, 56, 630039, Новосибирск, Российская Федерация
annstab@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Anna I. Pavlova, PhD (technical sciences), Associate Professor
Novosibirsk State University of Economics and Management
56, Kamenskaya Str., Novosibirsk, 630039, Russian Federation
SPIN-code: 8714-1140
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6159-1439>

Поступила 25.09.2022

После рецензирования 18.11.2022

Принята 25.11.2022

Received 25.09.2022

Revised 18.11.2022

Accepted 25.11.2022

DOI: DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-139-162

УДК 615.322:582.943:547.917.074



Научная статья | Лекарственные культуры

СКРИНИНГ БИОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ И ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ *POLEMONIUM CAERULEUM* L. ПОСЛЕ ПРИМЕНЕНИЯ КОЛХИЦИНА

*Ф.М. Хазиева, И.В. Басалаева, Е.А. Коняева,
А.Е. Бурова, Т.Е. Саматадзе*

Состояние вопроса. В настоящее время достаточно актуальным в селекции является создание сортов с высокими показателями урожайности сырья и содержания биологически активных соединений.

Цель работы – выявление перспективных форм синюхи голубой для дальнейшего включения в селекционный процесс на основании биоморфологических, анатомических, цитогенетических исследований и биопродуктивности колхицин-индуцированной и дикорастущей форм в сравнении с сортом Лазурь.

Материалы и методы. Для получения полиплоидов в 2018 году семена синюхи голубой сорта Лазурь проращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге при комнатной температуре. Когда корешки достигали длины семени, их помещали в разные концентрации раствора колхицина 0,05%, 0,1%, 0,2% и 0,52% на 12 и 24 часа, затем промывали в проточной воде в течение трёх часов.

Результаты. В статье впервые приведены данные по сравнительному изучению трех форм синюхи голубой по морфологическим признакам, микроскопии эпидермиса листьев и цитогенетическому анализу. Установлено, что продуктивность сырья подземной части тетраплоидных форм растений в поколении С1 достоверно превышала диплоидную и дикорастущую формы растений на 32 %, а также урожайность семян на 22 %. В поколении С2 урожайность сырья (корневищ с корнями) у тетраплоидных растений увеличивается по отношению к контролю на 56 %, семян на 34 %. Количественное определение суммы тритерпеновых сапонинов в пересчете на β-эсцин в растительном материале трех форм синюхи голубой показало превышение данного показателя у колхицинированной формы на 24 % в траве и на 36 % в корневищах с корнями, у дикорастущей формы – на 15 % в надземной части и уменьшение в подземной

части на 9 % по отношению к контролю. Обнаружено, что растения колхицинированной и дикорастущей форм отличаются наличием более крупных устьиц по сравнению с контролем. По рисунку DAPI-бэндина и распределения 45S рДНК и 5S рДНК генов построена обобщенная видовая идиограмма синюхи голубой с учетом полиморфных вариантов рисунков DAPI-бэндина и указанием расположения сайтов 45S рДНК и 5S рДНК генов. Выявлена цитогенетическая стабильность полученной тетраплоидной формы.

Заключение. В статье приведены сравнительные исследования по морфологическим признакам, биопродуктивности, по микроскопии эпидермиса листьев и цитогенетическому анализу тетраплоидной формы (колхицинированной) синюхи голубой в сравнении с сортом Лазурь (диплоидная форма) и дикорастущей формой растений синюхи.

Ключевые слова: синюха голубая; колхицин; тетраплоид; биоморфологические признаки; содержание сапонинов; микро-анатомический анализ; хромосомы; кариотип; флуоресцентная гибридизация *in situ* (FISH-анализ)

Для цитирования. Хазиева Ф.М., Басалаева И.В., Коняева Е.А., Бурова А.Е., Саматадзе Т.Е. Скрининг биоморфологических признаков и цитогенетических особенностей *Polemonium caeruleum* L. после применения колхицина // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №2. С. 139-162. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-139-162

Original article | Medicinal Plants

SCREENING FOR BIOMORPHOLOGICAL AND CYTOGENETIC FEATURES OF *POLEMONIUM CAERULEUM* L. AFTER COLCHICINE APPLICATION

*F.M. Khazieva, I.V. Basalaeva, E.A. Konyaeva,
A.E. Burova, T.E. Samatadze*

Background. Currently, it is quite relevant in breeding to create varieties with high yields of raw materials and the content of biologically active compounds.

This work aim is to identify promising forms of *P. caeruleum* L. is for further inclusion in the breeding process based on biomorphological, anatomical, cytogenetic studies and the bioproductivity of colchicine-induced and wild-growing forms in comparison with the Lazur variety.

Materials and methods. To obtain polyploids in 2018, the seeds of the *P. caeruleum* L. the Lazur variety were germinated in Petri dishes on filter paper at room

temperature. When the roots reached the length of the seed, they were placed in different concentrations of colchicine solution 0.05 %, 0.1 %, 0.2 % and 0.52 % for 12 and 24 hours, then washed in running water for three hours.

Results. The article for the first time presents data on a comparative study of three forms of *Polemonium caeruleum* L. in terms of morphological characteristics, microscopy of the leaf epidermis and cytogenetic analysis. It was established that the raw materials productivity of the underground part of the plants tetraploid forms in the C1 generation significantly exceeded the diploid and wild forms of plants by 32 %, as well as the yield of seeds by 22 %. In the C2 generation, the yield of raw materials (rhizomes with roots) in tetraploid plants increases in relation to the control by 56 %, seeds by 34 %. Quantitative determination of the amount of triterpene saponins in terms of β -escin in the plant material of three forms of *P. caeruleum* L. showed an excess of this indicator in the colchicine form by 24 % in the grass and by 36 % in rhizomes with roots, in the wild-growing form - by 15 % in the aerial part and decrease in the underground part by 9 % in relation to the control. It was found that plants of colchicine and wild forms differ in the presence of larger stomata compared to the control. Based on the pattern of DAPI-bandin and the distribution of 45S rDNA and 5S rDNA genes, a generalized species idiogram of blue cyanosis was constructed, taking into account polymorphic variants of DAPI-bandin patterns and indicating the location of the sites of 45S rDNA and 5S rDNA genes. The cytogenetic stability of the resulting tetraploid form was revealed.

Conclusion. The article presents comparative studies on morphological characteristics, bioproductivity, microscopy of the leaf epidermis and cytogenetic analysis of the tetraploid form (colchicine) of *P. caeruleum* L. in comparison with the variety *Lazur* (diploid form) and the wild form of *P. caeruleum* L. plants.

Keywords: *P. caeruleum* L.; colchicine; tetraploid; biomorphological features; the content of saponins; micro-anatomical analysis; chromosomes; karyotype; fluorescent in situ hybridization (FISH analysis)

For citation. Khazieva F.M., Basalaeva I.V., Konyaeva E.A., Burova A.E., Samatadze T.E. Screening for Biomorphological and Cytogenetic Features of *Polemonium caeruleum* L. after Colchicine Application. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 139-162. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-139-162

Введение

Среди лекарственных растений, обладающих широким спектром биологического действия, позволяющим использовать их для профилактики и лечения многих заболеваний заслуживает внимание синюха голубая

(*Polemonium caeruleum* L.) – многолетнее травянистое растение рода *Polemonium*, семейства Синюховые (*Polemoniaceae*). В России корневища с корнями синюхи – (*Polemonii caerulei rhizomata cum radicibus*), включены в ГФ [4] в качестве отхаркивающего средства.

В сырье подземной части *P. caeruleum* содержатся тритерпеновые сапонины, производные олеанана в виде полемониозида С, антоцианы и каротиноидные пигменты и др. Эти соединения имеют широкий спектр активности: антиоксидантный, противоопухолевый, противовоспалительный, антиатерогенный, мочегонный, противогрибковый, противовирусный, антиаритмический и детоксицирующий [6]. В народной медицине, помимо подземных органов синюхи, используется трава растения (в настоящее время – отход при заготовке официального сырья). С учетом постоянно возрастающей потребности в новых видах лекарственного растительного сырья, а также перспектив безотходного использования растения, целесообразно углубленное изучение травы синюхи голубой.

В настоящее время достаточно актуальным в селекции является создание сортов с высокими показателями урожайности сырья и содержания биологически активных соединений. Еще в 70-е годы прошлого века многие генетики и селекционеры высказывали единодушное мнение о целесообразности использования искусственных полиплоидов, предоставляющих богатый исходный материал для селекционной работы. Полиплоидная селекция является эффективным методом по сравнению с мутационной селекцией и обычным скрещиванием благодаря простоте обработки в течение короткого промежутка времени [16]. Более того, искусственная полиплоидизация, в отличие от мутационной селекции, которая включает в себя мутацию гена, приводит к изменению всего генома, что приводит к большим фенотипическим вариациям по сравнению с мутацией одного гена [14].

Наиболее распространенным веществом, приводящим к появлению полиплоидных форм растений, является колхицин, который широко используется для индукции полиплоидии [15]. Хотя колхицин легко используется для индуцирования полиплоидии во многих культурах, все еще существуют ограничения в разработке эффективных протоколов индукции полиплоидии и получения высокоурожайного полиплоидного мутанта [10].

Известно, что микроскопический анализ является одним из наиболее важных методов стандартизации и контроля качества лекарственного растительного сырья, применяется для определения его подлинности, а также выявления наличия примесей. Кроме того, особенности строения эпидермиса листа используются в качестве диагностических признаков для под-

тверждения подлинности надземной части растения. В этой связи, важными диагностическими признаками для идентификации растительного сырья являются форма клеток эпидермиса; наличие, расположение и типы устьиц; наличие и строение волосков, железок и вместилищ; наличие кристаллических включений, секреторных каналов; структура мезофилла листа.

Показано, что основным препятствием к использованию полиплоидных форм растений является их нестабильность, а также пониженная фертильность пыльцы [17, 16, 21]. Это негативно сказывается на жизнеспособности пыльцевых зерен, а также участия их в процессе двойного оплодотворения [5]. Использование одних лишь морфологических признаков для выявления перспективных форм синюхи не может дать полную картину всех индивидуальных особенностей этого растения. Привлечение дополнительных методов хромосомного анализа – флуоресцентной гибридизации *in situ* (FISH-анализа) позволит провести сравнительное исследование изучаемых форм синюхи и охарактеризовать эти растения на уровне генома [1].

Цель нашей работы – выявление перспективных форм синюхи голубой для дальнейшего включения в селекционный процесс на основании биоморфологических, анатомических, цитогенетических исследований и биопродуктивности колхицин-индуцированной и дикорастущей форм в сравнении с сортом Лазурь.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в течение 2018-2022 гг. в лабораторных условиях, в тепличном комплексе, на опытном участке лаборатории агробиологии ФГБНУ ВИЛАР. Для получения полиплоидов в 2018 году семена синюхи голубой сорта «Лазурь» (контроль) проращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге при комнатной температуре. Когда корешки достигали длины семени, их помещали в разные концентрации раствора колхицина 0,05 %, 0,1 %, 0,2 % и 0,52 % на 12 и 24 часа, затем промывали в проточной воде в течение трёх часов. После появления семядольных листочков рассаду колхицированной, контрольной и дикорастущей форм пересаживали в ящики в теплицу и выращивали в течение 1,5 месяца, затем высаживали в полевые условия по схеме 60×30 см. Семена дикорастущей формы были получены от отдела растительных ресурсов из экспедиции в Мещеру (55°33'40" с. ш. 40°15'14" в. д.) в 2017 году.

В 2019 году были собраны семена со всех вариантов опыта и в 2020 году был заложен опыт по сравнительному изучению разных форм синюхи. Посев семян синюхи был проведен в первой декаде мая, норма высева

8 кг/га семян, глубина заделки семян 2-3 см. Ширина междурядий 60 см. Предшественник – черный пар. Площадь опытной делянки 7,2 м², повторность трехкратная, размещение делянок рендомизированное.

Почва опытного поля дерново-подзолистая средне-суглинистая, имеет следующие агрохимические показатели: гумус (по Тюрину) – 2,23 %, массовая доля азота нитратов – <2,80 млн-1, массовая доля соединений фосфора (по Кирсанову) P₂O₅ – 386,28 мг/кг, K₂O – 87,7 мг/кг (по Масловой), сумма поглощенных оснований (по Каппену) – 6,3 ммоль/100 г, pH солевой – 5,15.

Исследования осуществляли в соответствии с методиками: «Проведения полевых опытов с лекарственными культурами» (1981) и «Требования к оформлению полевых опытов во Всероссийском научно-исследовательском институте лекарственных и ароматических растений (ВИЛАР)» (2006). Фенологические наблюдения проводили по методике И.Н. Бейдеман (1974), статистическую обработку опытных данных - по Б.А. Доспехову (1985) с использованием программного обеспечения MS Excel, посевные качества семян – по ГОСТ Р 51096-97.

Биометрические измерения проводили в фазу массового цветения на 2 и 3 годах вегетации растений. На 10 учетных растениях измеряли высоту, число генеративных побегов, толщину стебля, длину и ширину листа. Для определения продуктивности сырья корни растений выкапывали в конце вегетации (3 декаде сентября), промывали проточной водой, высушивали при температуре 40°C в течение 72 ч.

Содержание сапонинов в сырье определяли согласно ФС.2.5.0039.15 [4]. Для определения суммы тритерпеновых сапонинов в пересчете на β-эсцин использовали отдельно подземную часть (корневища с корнями) и надземную часть (розеточные листья) синюхи.

Для анатомического исследования листьев использовали высушенные розеточные листья растений синюхи голубой: сорт Лазурь (контроль), колхицинированная и дикорастущие формы 3 года вегетации. Исследование проводили согласно общей фармакопейной статье Государственной фармакопеи Российской Федерации XIV издания: ОФС.1.5.3.0003.15 “Техника микроскопического и микрохимического исследования лекарственного растительного сырья и лекарственных растительных препаратов” [3]. Препараты готовили с поверхности, фотографии были сделаны на биологическом микроскопе “Альтами БИО 2 LED” с цифровой окулярной USB камерой 3,1 Мпикс (Россия).

Флуоресцентную гибридизацию *in situ* (FISH-анализ) проводили по ранее описанной методике с зондами 45S и 5S рДНК, полученными с помощью ПЦР из геномной ДНК *Linum austriacum* L. [8]. Пробу 45S рДНК метили био-

тином с помощью набора Biotin-Nick translation mix («Roche», Швейцария), а пробу 5S рДНК – диоксигенином с помощью набора DIG-Nick translation mix («Roche», Швейцария) в соответствии с протоколом производителя. Для выявления мест гибридизации зонда 5S рДНК использовали антитела к диоксигенину, конъюгированные с родамином («Roche», США), а для усиления сигнала использовали антитела конъюгированные с Cy3. Сайты гибридизации зонда 45S рДНК выявляли с использованием флуоресцеин-конъюгированного авидина («Vector laboratories», Великобритания). Для усиления сигнала использовали биотинилированный антиавидин («Vector laboratories», Великобритания) с повторным нанесением флуоресцеин-конъюгированного авидина. Препараты высушивали и окрашивали флуорохромом DAPI в концентрации 0.125 мкг/мл в Antifade («Abnova Corporation», Taiwan).

Просмотр препаратов, отбор метафазных пластинок и их анализ проводили с помощью флуоресцентного микроскопа Olimpus BX61, снабженного черно-белой ПЗС камерой CoolSnap («RoperScientific Inc.», США). Анализировали не менее 15 выбранных метафазных пластинок с хорошим разбросом хромосом из каждой исследуемой формы синюхи. Полученные изображения обрабатывали, используя программы хромосомного анализа, согласно технологии, принятой в лаборатории [7].

Результаты исследования

Влияние обработки различными концентрациями колхицина на выживаемость проростков растений оценивали в лабораторных условиях через 30 дней после обработки. В дозах 0,05 и 0,1 % при экспозиции 24 часа по биометрическим признакам проростки не отличались от контрольных, поэтому были исключены из дальнейшего изучения. В концентрации 0,5 % при экспозиции 12 часов в стадии рассады растения погибли. Наибольшая выживаемость рассады была в концентрации 0,2 % и экспозиции 12 часов (табл. 1). Растения 1 года в стадии розетки листьев закончили вегетацию.

Таблица 1.

Выживаемость растений в первый год вегетации, % (2018 г.)

Этап	Контроль	Колхицинированные	Дикорастущие
Прорастивание	85	80	50
Прорастание	85	57	27
Пикировка	85	52	27
Высадка в полевые условия	80	20	23
Конец вегетации 1 г.ж.	78	8	10

В 2019 году на растениях второго вегетации, обработанных колхицином (поколение C_1) были проведены исследования по размеру и фертильности пыльцевых зерен, морфологических характеристик и продуктивности растений.

Таблица 2.

**Влияние колхицина на морфологические характеристики растений
Polemonium caeruleum L. (2019 г.)**

Параметры	Контроль	Колхицин	Дикорастущая форма
Высота растения, см	71,3±3,31*	46,3±4,01	50,1±4,47*
Число генеративных побегов, шт.	6,1±0,50	7,2±0,88*	3,0±0,23
Толщина стебля, см	0,68±0,064	1,00±0,094*	0,39±0,23
Длина листа, см	17,7±1,11	21,8±0,44*	17,5±1,55
Ширина листа растения, см	6,4±0,24	7,8±0,68*	5,8±0,54

Примеч.: * – различия достоверны при $P \leq 0.05$.

Пыльцевые зерна у синюхи голубой многопоровые, шаровидной формы. В диаметре 52,8-59,4 мкм., в очертании круглые. Поры округлые или слегка вытянутые до 3 мкм в диаметре с крышечками, края пор извилистые. Пыльца темно-желтого цвета [2].

Характеристика пыльцевых зерен у контрольного варианта (сорт Лазурь) диплоидной ($2n=18$), тетраплоидной (обработанной колхицином) и дикорастущей форм представлены ниже (табл. 3, рис. 2).

Таблица 3.

**Морфо-физиологические характеристики пыльцевых зерен
Polemonium caeruleum L., 2019 г.**

Варианты опыта	Размеры пыльцевых зерен, мкм		Фертильность пыльцы
	Средние значения	Пределы вариации	
Контроль (сорт Лазурь)	44,2 ± 3,54	40,3-48,1	95,5±5,41*
Обработка колхицином	53,7 ± 4,56*	50,5-61,7	76,1±2,42
Дикорастущая форма	42,6 ± 3,67	39,5-46,0	88,1±4,33

Примеч.: * - различия достоверны при $P \leq 0.05$

Обработка колхицином привела к увеличению размеров пыльцевых зерен на 13% у тетраплоидных форм, при этом фертильность пыльцы уменьшилась на 19% по сравнению с контролем. У дикорастущих растений размеры пыльцы были в пределах ошибки опыта по сравнению с контролем, фертильности пыльцы была меньше на 8% по отношению к сорту Лазурь.

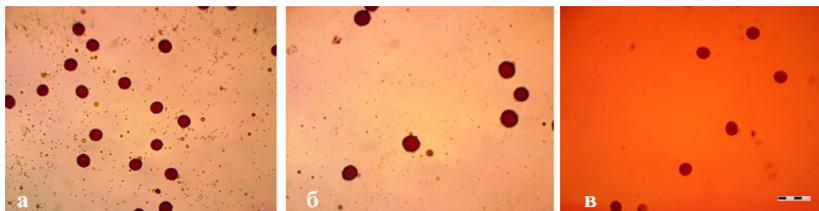


Рис. 1. Пыльцевые зерна: а – контроль (сорт Лазурь, диплоидные растения), б – Обработанные колхицином (тетраплоиды), г – дикорастущие растения. Масштабная линейка – 100 мкм.

Таблица 4.

**Влияние колхицина на продуктивность растений и семян
P. caeruleum L. 2019 г.**

Показатели	Сорт Лазурь (К)	Колхицинированная форма	Дикорастущая форма
Продуктивность корневища с корнями, г/растение	36,5±3,33	48,3±4,71*	16,2±0,11
Продуктивность травы, г/растение	26,8±2,15	29,5±2,82	14,3±1,39
Продуктивность семян, г/растение	8,7±0,56	10,7±1,28*	1,7±0,12

На втором году жизни (2019 год) растения проходят полный цикл развития – от отрастания до образования семян.

Исследования показали, что тетраплоидные растения более низкорослые, характеризовались большим количеством побегов с антоцианово-окрашенным стеблем большей толщины, чем у контрольных растений. Листья у тетраплоидов были крупнее, имели темно-зеленую окраску листовой пластинки (рис. 3).

Эти морфологические характеристики легко идентифицируются и могут быть использованы для предварительного отбора предполагаемых полиплоидных форм *P. caeruleum*.

По данным 2019 года, установлено, что обработка проростков 0,2% раствором колхицина приводит к уменьшению высоты растений на 35%, увеличению толщины стебля на 47 % и числа генеративных побегов на 18%, а также к увеличению длины (на 23%) и ширины листа (на 22%) у тетраплоидных форм по сравнению с диплоидными формами растений. Выявлено, что продуктивность сырья и урожайность семян у полиплоидных форм выше по сравнению с диплоидными на 32% и 22%, соответственно.

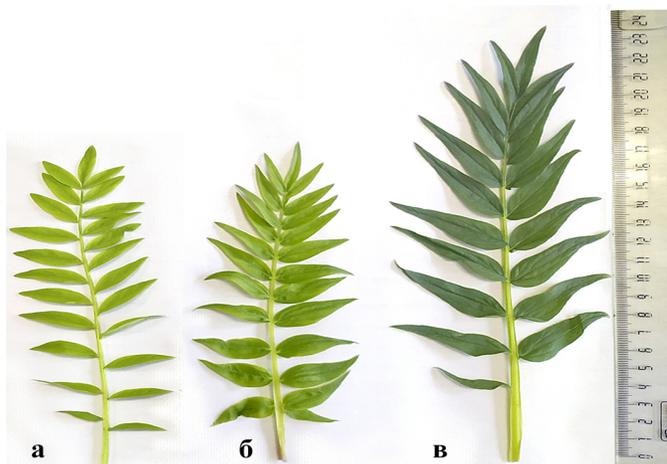


Рис. 2. Листовые пластинки: а – дикорастущая, б – контроль, в – колхичинированная форма синюхи голубой.

В 2020 году был заложен селекционный питомник семенным способом, растения в котором успешно росли и развивались и к концу вегетационного периода нарастили розетку листьев.

В условиях 2021-2022 гг. растения имели более высокие показатели морфологических признаков и биопродуктивности по сравнению с 2019 годом (табл. 5). Установлено, что урожайность воздушно-сухого сырья (корневища с корнями) тетраплоидных форм растений C_2 достоверно превышала аналогичный показатель у диплоидных растений на 56 %, урожайность семян на 34 % (табл. 6).

Таблица 5.

Морфометрические показатели растений разных форм *P. caeruleum* L. второго и третьего года жизни (2021-2022 гг.).

Параметры	Сорт Лазурь (К)	Колхичинированная форма	Дикорастущая форма
Высота растения, см	110,8±4,02*	94,6±1,65	90,3±2,31
Число генеративных побегов, шт.	6,1±0,50	7,2±0,67	3,0±0,23
Толщина стебля, см	0,66±0,060	1,00±0,082	0,41±0,021
Длина листа, см	15,2±0,80	18,3±0,14	14,5±1,10
Ширина листа, см	6,9±0,22	8,6±0,62	6,0±0,22

Примеч.: * - различия достоверны при $P \leq 0.05$.

Таблица 6.

**Урожайность сырья и семян разных форм *P. caeruleum* L.
второго и третьего года жизни (2021-2022 гг.)**

Признаки	Сорт Лазурь (К)	Колхицинированная форма	Дикорастущая форма
Урожайность корневища с корнями, т/га	1,63±0,15	2,50±0,22*	0,95±0,089
Урожайность воздушно-сухих розеточных листьев, т/га	0,49±0,038	0,65±0,061	0,35±0,030
Урожайность семян, т/га	0,63±0,034	0,85±0,038*	0,11±0,009
Масса 1000 шт. семян, г	1,46±0,116	1,54±0,125	0,64±0,122
Энергия прорастания семян, %	55	47	50
Всхожесть семян, %	96	80	85
Содержание сапонинов, %			
Розетка листьев	18,89±1,37	23,58±2,05*	21,74±1,893
Корневища с придаточными корнями	14,92±1,24	20,36±1,23*	13,67±1,131

Примеч.: *- различия достоверны при $P \leq 0.05$.

Количественное определение суммы тритерпеновых сапонинов в пересчете на β -эсцин в растительном материале (надземной и подземной части) трех форм синюхи голубой показало, что этот показатель у колхицинированной формы составляет 23,58 %; 20,36 %), в отличие от контрольной (18,89 %; 14,92 %) и дикорастущей формы (21,74 %; 13,67 %) (табл. 6).

Оценка воздействия колхицина на энергию прорастания и всхожесть семян, собранных с тетраплоидных растений позволила установить, что семена, собранные с растений, полученных после обработки колхицином, характеризуются более низкими посевными качествами, по сравнению с контролем и дикорастущей формой (табл. 6).

Выявлено, что по содержанию биологически активных соединений (тритерпеноидные сапонины) произошло увеличение этого показателя на 24 % в траве и на 36 % в сырье (корневища с корнями) у растений, обработанных колхицином. У дикорастущей формы синюхи наблюдалось превышение сапонинов на 15 % в надземной части и уменьшение в сырье (корневища с корнями) на 9 % по отношению к контролю.

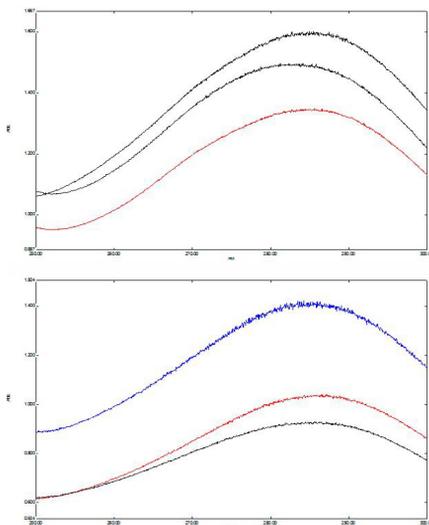


Рис. 3. Количественное определение суммы тритерпеновых сапонинов в образцах сырья синюхи голубой *в траве*: а) обработка колхицином (верхняя кривая); б) дикорастущая форма (средняя кривая); в) сорт Лазурь (нижняя кривая); *в корневищах с корнями*: а) обработка колхицином (верхняя кривая); б) сорт Лазурь (средняя кривая); в) дикорастущая форма (нижняя кривая)

Микроскопический анализ листьев показал, что устьица расположенные на нижней стороне аномоцитного типа, сопровождаются 3-6 (реже 7) клетками эпидермиса, варьируют по форме и размерам (лист гипостоматический). У растений колхицинированной и дикорастущей форм можно отметить наличие более крупных устьиц по сравнению с контролем (рис. 4, табл. 7).

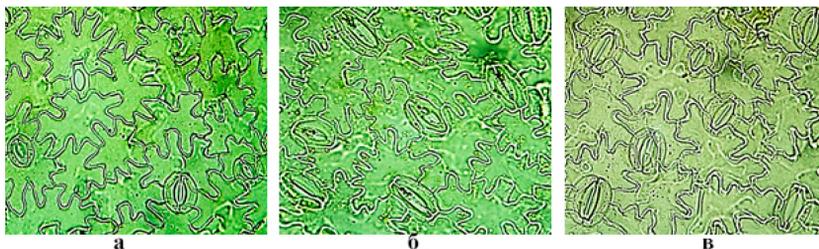


Рис. 4. Сравнительные анатомо-диагностические признаки листьев нижнего эпидермиса листа с устьицами (x400) у сорта Лазурь (К) (а), колхицинированной формы (б) и дикорастущей формы (в) растений *P. saeuleum* L.

Таблица 7.

Размеры устьиц изучаемых форм *P. caeruleum* L.

Характеристика	Сорт Лазурь (К)	Колхицинированная форма	Дикорастущая форма
Длина устьиц	11,70±1,12	15,30±1,25*	14,1±1,02*
Ширина устьиц	6,83±0,24	7,10±0,17*	6,86±0,15
Частота встречаемости устьиц – количество устьиц на 1 мм ²	83,7	85,2	88,7

Примеч.: *- различия достоверны при $P \leq 0.05$

Сравнительный визуальный анализ кариотипов показал, что у изучаемых форм синюхи DAPI бэнды мелких и средних размеров локализируются в основном в центромерных и интеркалярных районах хромосом. Прицентромерные блоки хромосом, как правило, наиболее крупные (прицентромерно интеркалярный тип распределения гетерохроматина) (рис. 5). Морфологические параметры хромосом и позиции на хромосомах, где выявляются DAPI бэнды, сходны у всех изучаемых форм синюхи. Теломерные, интеркалярные и прилегающие к вторичным перетяжкам DAPI бэнды были более полиморфными. У тетраплоидной формы синюхи также наблюдался незначительный полиморфизм по размерам интеркалярных DAPI бэндов в хромосомах субгеномов (рис. 5).

Изучение локализации рибосомных генов с помощью двухцветного FISH-метода показало, что кариотипы растений сорта Лазурь и дикорастущей формы *P. caeruleum* включали $2n = 2x = 18$ хромосом среднего размера в диапазоне от 3,6 до 5,0 мкм (рис. 5 а, б). Кластеры 45S рДНК были локализованы в коротких плечах трех сателлитных хромосом: 3, 4 и 7. Вторичные перетяжки 3 и 4 пар хромосом были довольно короткими, в отличие от спутничной хромосомы 7, имеющей длинную нить со спутником. Яркие сигналы 5S рДНК были выявлены на коротких плечах хромосомной пары 4, а также на длинных плечах хромосомной пары 8. Кариотип тетраплоидных растений *P. caeruleum* содержал два сходных генома $2n = 4x = 36$, а размеры хромосом варьировались от 3,0 до 4,4 мкм (рис. 5 в). Кластеры 45S рДНК были локализованы в коротких плечах шести пар спутничных хромосом 3, 4 и 7 обоих геномов. Яркие сигналы 5S рДНК наблюдались в перичентромерных областях коротких плеч хромосомных пар 4, а также в интерстициальных областях длинных плеч хромосомных пар 8 обоих геномов (рис. 5 в).

На основании компьютерного хромосомного анализа была построена видовая идиограмма генома *P. caeruleum* L. - с указанием расположения 26S и 5S рДНК генов (рис. 6).

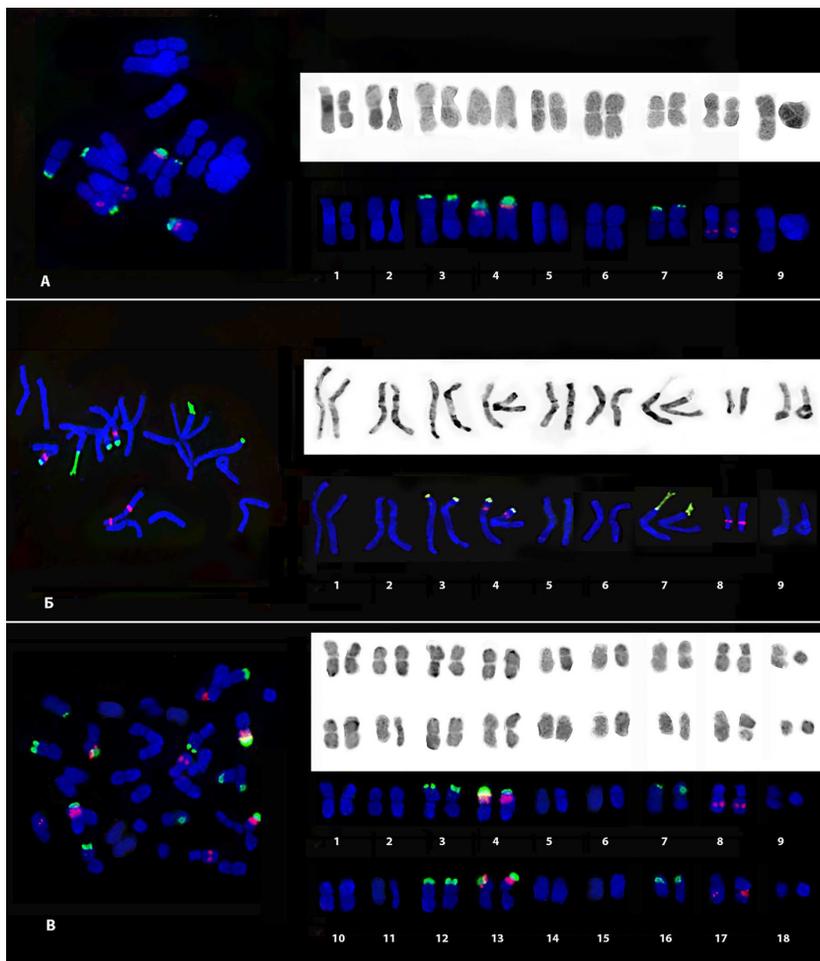


Рис. 5. Флуоресцентная гибридизация *in situ* (FISH) и DAPI-дифференциально-окрашенные метафазные хромосомы дикорастущей (а), сорта Лазурь (б) и колхицинированной (в) форм *P. caeruleum*. C/DAPI – дифференциально-окрашенные хромосомы – инвертированное изображение, зеленый сигнал – 45S рДНК, красный сигнал – 5S рДНК

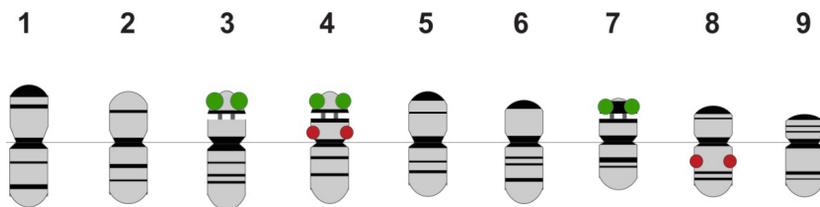


Рис. 6. Видовая идиограмма генома *P. caeruleum* L. с учетом полиморфизма DAPI-бэндов (черный цвет) и сайтов локализации генов 45S рДНК (зеленый цвет) и 5S рДНК (красный цвет).

Обсуждение

В ряде исследований сообщалось, что тетраплоиды у растений обладают многими ценными сельскохозяйственными характеристиками, такими как интенсивный рост, большие по сравнению с диплоидами листья, толстые стебли и корни [20]. Наши результаты также показали, что обработка колхицином привела к увеличению числа генеративных побегов, толщины стеблей, длины и ширины листа. Установлено, что цветение у тетраплоидных форм растений наступает на неделю позже контрольных диплоидных. Дикорастущая форма отстает по фенологическим фазам по годам исследований более чем на 20 суток. В результате обработки колхицином высота растений в 2019 году уменьшилась на 15 %, увеличились толщина стебля, количество генеративных побегов, длина и ширина листа на 47, 18, 23 и 22 %, соответственно, по сравнению с контролем. Выявлено, что по содержанию биологически активных соединений (*тритерпеновые* сапонины) произошло увеличение этого показателя на 24 % в розеточных листьях и на 36 % в сырье (корневища с корнями) у растений, обработанных колхицином. У дикорастущей формы синюхи наблюдалось превышение сапонинов на 15 % в розеточных листьях и уменьшение в сырье подземной части на 9 % по отношению к контролю. Изменение метаболического профиля у аутополиплоидных растений путем простого дублирования основного генома интерпретировалось, как причина действия механизма, регулирующего биосинтез отдельных соединений [12]. В другом исследовании авторы сообщили об увеличении содержания действующих веществ в тетраплоидных формах растений по сравнению с диплоидными: у польны однолетней (артемизинин) [11], белены египетской (скополамин) [13].

В нашем исследовании было установлено, что семена, собранные с растений, полученных после обработки колхицином, характеризуются более низкими посевными качествами, как энергии прорастания – 47 %, так и всхожести семян – 80 %, по сравнению с контролем (55 % и 96 %, соответ-

ственно). И хотя семена, полученные с тетраплоидных растений, по сравнению с диплоидными формами могут иметь более крупные размеры, тем не менее, наличие пыльников с полным отсутствием пыльцевых зерен, а также стерильных пыльцевых зерен может приводить к снижению посевных качеств таких семян [22, 24]. В последствии с каждым следующим поколением в опытах разрыв в продуктивности тетраплоидов и диплоидов может уменьшаться и стать практически неощутимым [19].

Известно, что для определения подлинности лекарственного растительного сырья, а также выявления наличия примесей используют морфолого-анатомический анализ, который является одним из наиболее важных методов стандартизации и контроля качества лекарственного растительного сырья. Кроме того, особенности строения эпидермиса листа используются в качестве диагностических признаков для подтверждения подлинности надземной части растения. В настоящем исследовании проведено микроскопическое изучение эпидермиса листьев у сорта Лазурь, колхицинированной и дикорастущей форм растений *P. caeruleum* и дана характеристика размеров устьиц. Показано, что у растений колхицинированной и дикорастущей форм можно отметить наличие более крупных устьиц по сравнению с контролем, характерные для данного вида растения, которые могут быть использованы при идентификации сырья.

Известно, что рибосомная ДНК является высоко консервативной, содержит повторяющиеся семейства генов с сотнями и тысячами копий и сосредоточена в одном или более кластерах на одной или многих хромосомных парах [17]. Сайты рДНК легко картируются на хромосомах при проведении флуоресцентной гибридизации *in situ* (FISH). Расположение рибосомных генов на хромосомах относят к синапоморфным признакам и сайты рДНК являются молекулярными маркерами для анализа филогенетических связей родственных геномов [1].

Ранее были проведены сравнительные исследования диплоидной (интродуцированной) и полученной колхицинированной форм растений *P. caeruleum* и проведен предварительный отбор растений по ряду показателей [9, 23]. В данной работе на основании DAPI бэндинга и FISH анализа изучена структура кариотипов и хромосомная локализация 26S и 5S рДНК генов на хромосомах изучаемых форм синюхи. В нашем исследовании FISH анализ хромосом в кариотипах у полученных тетраплоидных форм растений синюхи позволил установить их автотетраплоидное происхождение ($2n=36$). По локализации сайтов гибридизации 45S рДНК и 5S рДНК геномы оказались идентичными диплоидным формам (дикорастущей и сорта Лазурь), что может свидетельствовать об их стабильности.

Выводы

1. Показано, что наибольшее количество тетраплоидных растений (15 %) было получено при обработке колхицином в концентрации 0,2 % при экспозиции 12 часов. Выявлено, что в результате обработки колхицином высота растений уменьшилась на 15 %, увеличились толщина стебля, количество генеративных побегов, длина и ширина листа на 47, 18, 23 и 22 %, соответственно, по сравнению с контролем.
2. Установлено, что продуктивность воздушно-сухого сырья подземной части тетраплоидных форм растений достоверно превышала аналогичный показатель у диплоидных растений на 32 %, урожайность семян на 22 % в 2019 году, на 56 и 34 %, соответственно в 2021-2022 гг.
3. По содержанию биологически активных соединений (тритерпеновые сапонины) произошло увеличение этого показателя на 24 % в траве и на 36 % в сырье (корневища с корнями) у растений, обработанных колхицином. У дикорастущей формы синюхи наблюдалось превышение сапонинов на 15 % в надземной части и уменьшение в сырье (корневища с корнями) на 9 % по отношению к контролю.
4. Показано, что у растений колхицинированной и дикорастущей форм отмечаются более крупные размеры устьиц по сравнению с контролем. Данная морфолого-анатомическая характеристика листа может быть использована для идентификации сырья.
5. На основании DAPI бэндинга и флуоресцентной гибридизации *in situ* идентифицированы хромосомы, установлена локализация 45S рДНК и 5S рДНК генов на хромосомах в кариотипах изучаемых форм синюхи и выявлена цитогенетическая стабильность полученной тетраплоидной формы.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-26-00221.

Список литературы

1. Бадаева Е.Д., Салина Е.А. Структура генома и хромосомный анализ растений // Вавиловский журнал генетики и селекции, 2013. Т. 17, № 4/2. С. 1017-1043.
2. Бурмистров А.Н., Никитина В.А. Медоносные растения и их пыльца: Справочник. М.: Росагропромиздат. 1990, 192 с.

3. Государственная фармакопея РФ XIV издания. Федеральная электронная медицинская библиотека Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2018 ФС. 5.3.0003.15, ФС.1.5.1.0002.15). <https://femb.ru/record/pharmacopea14> (дата обращения 01.07.2020).
4. Государственная Фармакопея Российской Федерации XIV изд. ФС.2.5.0020.15. 2015. <http://pharmacopoeia.ru/gosudarstvennaya-farmakopeya-xiii-online-gf-14-online> (дата обращения: 21.09.2021)
5. Зеленцов С.В., Мошненко Е.В. Морфологические особенности пыльцы и нарушения мейоза у автотетраплоидов сои // Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур, 2004. Т. 1. N 130. С. 10-14.
6. Мальцева А.А. Трава синюхи голубой – перспективный источник тритерпеновых сапонинов / А.А. Мальцева, А.А. Сорокина, Т.А. Брежнева, А.С. Чистякова, А.И. Сливкин // Фармация. 2011. № 7. С. 13-16.
7. Муравенко О.В., Зеленин А.В. Исследование хромосомной организации геномов мелкохромосомных растений // Генетика. 2009. Т. 45. № 11. С. 1516-1529.
8. Семенова О.Ю., Саматадзе Т.Е., Зеленин А.В., Муравенко О.В. Сравнительное изучение геномов видов льна секции *Adenolinum* и *Stellerolinum* с использованием флуоресцентной гибридизации *in situ* (FISH) // Биологические мембраны. 2006. Т. 23. № 6. С. 453-460.
9. Цитогенетические особенности диплоидной и колхицин-индуцированной формы синюхи голубой (*Polemonium caeruleum* L.) / Саматадзе Т.Е., Юркевич О.Ю., Хазиева Ф.М., Басалаева И.В., Амосова А.В., Муравенко О.В. // Коллекции как основа изучения генетических ресурсов растений и грибов: Тезисы докладов Всероссийской конференции. Санкт-Петербург, 22–23 июня 2022 г. (в рамках Первого научного форума «Генетические ресурсы России», 21–24 июня 2022 г.). СПб.: Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, 2022. С. 45.
10. Azmi T.K.K., Sukma D., Aziz S.A., Syukur M. Polyploidy induction of moth orchid (*Phalaenopsis amabilis* (L.) Blume) by colchicine treatment on pollinated flowers // J. Agric. Sci. 2016. Vol. 11(2). P. 62-73. <https://doi.org/10.4038/jas.v11i2.8118>
11. Banyai W., Sangthong R. Overproduction of artemisinin in tetraploid *Artemisia annua* L. // Plant Biotechnology. 2010. Vol. 27(5). P. 427–433.
12. Glazunova A., Hazieva F., Samatadze T. Effect of Colchicine treatment on the cariology and morphology signs of *Polemonium caeruleum* L. // BIO Web of Conferences. 2020. Vol. 17, 00210. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700210>

13. Javadian N., Karimzadeh G., Sharifi M., Moieni A., Behmanesh M. In vitro polyploidy induction: Changes in morphology, podophyllotoxin biosynthesis, and expression of the related genes in *Linum album* (Linaceae) // *Planta*. 2017. Vol. 245. P. 1165–1178. <https://doi.org/10.1007/s00425-017-2671-2>
14. Eng W. H., Ho W. S. Polyploidization using colchicine in horticultural plants: A review // *Sci. Hortic.* 2019. Vol. 246. P. 604–617. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.010>
15. El-Nashar Y. I., Ammar M. H. Mutagenic influences of colchicine on phenological and molecular diversity of *Calendula officinalis* L. // *Genet. Mol. Biol.* 2015. Vol. 15. P. 1–15. <https://doi.org/10.4238/gmr.15027745>
16. Niu L., Tao Y.B., Chen M.S., et al. Identification and characterization of tetraploid and octoploid *Jatropha curcas* induced by colchicine // *Caryologia*. 2016. Vol. 69. P. 58–66. <https://doi.org/10.1080/00087114.2015.1110308>
17. Pedersen C., Linde Laursen I. Chromosomal locations of four minor rDNA loci and a marker microsatellite sequence in barley // *Chromosome Res.* 1994. V. 2. P. 65–71.
18. Pereira R. C., Ferreira, M. T. M., Davide, L. C., Pasqual, M., Mittelman, A., Techio, V. H. Chromosome duplication in *Lolium multiflorum* Lam. // *Crop Breed. Appl. Biotechnol.* 2014. Vol. 14. P. 251–255. <https://doi.org/10.1590/1984-70332014v14n4n39>
19. Petersen K.K., Hagberg P., Kristiansen K. Colchicine and oryzalin mediated chromosome doubling in different genotypes of *Miscanthus sinensis* // *Plant Cell Tissue Org. Cult.* 2003. Vol. 73. P. 137–146. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1022854303371>
20. Rasmusson D.C., Glass R.L. Estimates of genetic and environmental variability in barley // *Crop Sci.* 1967. Vol. 7. P. 185–188.
21. Sabzehzari M., Hoveidamanesh S., Modarresi M., Mohammadi V. Morphological, anatomical, physiological, and cytological studies in diploid and tetraploid plants of *Ispaghul* (*Plantago ovata* Forsk.) // *Genet Resour Crop Evol.* 2020. Vol. 67. P. 129–137.
22. Sattler M.C., Carvalho C.R., Clarindo W.R. The polyploidy and its key role in plant breeding // *Planta*. 2016. Vol. 243. P. 281–296. <https://doi.org/10.1007/s00425-015-2450-x>
23. Samatadze T. E., Yurkevich O. Y., Khazieva F. M., Basalaeva I. V., Konyaeva E. A., Burova A. E., Zoshchuk S. A., Morozov A. I., Amosova A. V., Muravenko O. V. Agro-Morphological and Cytogenetic Characterization of Colchicine-Induced Tetraploid Plants of *Polemonium caeruleum* L. (*Polemoniaceae*) // *Plants*. 2022. Vol. 11, 2585. <https://doi.org/10.3390/plants11192585>

24. Tulay E., Unal M. Production of colchicine induced tetraploids in *Vicia villosa* roth // *Caryologia-Firenze*. 2010. Vol. 63(3). P. 292–203.

References

1. Badaeva E.D., Salina E.A. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii*, 2013, vol. 17, no. 4/2, pp. 1017-1043.
2. Burmistrov A.N., Nikitina V.A. *Medonosnye rasteniya i ikh pyl'tsa: Spravochnik* [Honey plants and their pollen: Handbook]. M.: Rosagropromizdat, 1990, 192 p.
3. State Pharmacopoeia of the Russian Federation XIV edition. Federal Electronic Medical Library of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2018 FS. 5.3.0003.15, FS.1.5.1.0002.15). <https://femb.ru/record/pharmacopoeia14>
4. State Pharmacopoeia of the Russian Federation XIV ed. FS.2.5.0020.15. 2015. <http://pharmacopoeia.ru/gosudarstvennaya-farmakopeya-xiii-online-gf-14-online>
5. Zelentsov S.V., Moshnenko E.V. *Nauchno-tehnicheskiiy byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur*, 2004, vol. 1, no. 130, pp. 10-14.
6. Mal'tseva A.A., Sorokina A.A., Brezhneva T.A., Chistyakova A.S., Slivkin A.I. *Farmatsiya*, 2011, no. 7, pp. 13-16.
7. Muravenko O.V., Zelenin A.V. *Genetika*, 2009, vol. 45, no. 11, pp. 1516-1529.
8. Semenova O.Yu., Samatadze T.E., Zelenin A.V., Muravenko O.V. *Biologicheskie membrany*, 2006, vol. 23, no. 6, pp. 453-460.
9. Samatadze T.E., Yurkevich O.Yu., Khazieva F.M., Basalaeva I.V., Amosova A.V., Muravenko O.V. *Kollektsii kak osnova izucheniya geneticheskikh resursov rasteniy i gribov: Tezisy dokladov Vserossiyskoy konferentsii. Sankt-Peterburg, 22–23 iyunya 2022 g. (v ramkakh Pervogo nauchnogo foruma «Geneticheskie resursy Rossii», 21–24 iyunya 2022 g.)* [Collections as a basis for the study of genetic resources of plants and fungi: Abstracts of the All-Russian Conference. St. Petersburg, June 22–23, 2022 (as part of the First Scientific Forum “Genetic Resources of Russia”, June 21–24, 2022)]. St. Petersburg: Botanical Institute. V.L. Komarova RAN, 2022, p. 45.
10. Azmi T.K.K., Sukma D., Aziz S.A., Syukur M. Polyploidy induction of moth orchid (*Phalaenopsis amabilis* (L.) Blume) by colchicine treatment on pollinated flowers. *J. Agric. Sci.*, 2016, Vol. 11(2), pp. 62-73. <https://doi.org/10.4038/jas.v11i2.8118>
11. Banyai W., Sangthong R. Overproduction of artemisinin in tetraploid *Artemisia annua* L. *Plant Biotechnology*, 2010, vol. 27(5), pp. 427–433.
12. Glazunova A., Haziyeva F., Samatadze T. Effect of Colchicine treatment on the cariology and morphology signs of *Polemonium caeruleum* L. *BIO Web of Conferences*, 2020, vol. 17, 00210. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700210>

13. Javadian N., Karimzadeh G., Sharifi M., Moieni A., Behmanesh M. In vitro polyploidy induction: Changes in morphology, podophyllotoxin biosynthesis, and expression of the related genes in *Linum album* (Linaceae). *Planta*, 2017, vol. 245, pp. 1165–1178. <https://doi.org/10.1007/s00425-017-2671-2>
14. Eng W. H., Ho W. S. Polyploidization using colchicine in horticultural plants: A review. *Sci. Hortic*, 2019, vol. 246, pp. 604–617. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.010>
15. El-Nashar Y. I., Ammar M. H. Mutagenic influences of colchicine on phenological and molecular diversity of *Calendula officinalis* L. *Genet. Mol. Biol.*, 2015, vol. 15, pp. 1–15. <https://doi.org/10.4238/gmr.15027745>
16. Niu L., Tao Y.B., Chen M.S., et al. Identification and characterization of tetraploid and octoploid *Jatropha curcas* induced by colchicine. *Caryologia*, 2016, vol. 69, pp. 58–66. <https://doi.org/10.1080/00087114.2015.1110308>
17. Pedersen C., Linde Laursen I. Chromosomal locations of four minor rDNA loci and a marker microsatellite sequence in barley. *Chromosome Res.*, 1994, vol. 2, pp. 65–71.
18. Pereira R. C., Ferreira, M. T. M., Davide, L. C., Pasqual, M., Mittelman, A., Techio, V. H. Chromosome duplication in *Lolium multiflorum* Lam. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.*, 2014, vol. 14, pp. 251–255. <https://doi.org/10.1590/1984-70332014v14n4n39>
19. Petersen K.K., Hagberg P., Kristiansen K. Colchicine and oryzalin mediated chromosome doubling in different genotypes of *Miscanthus sinensis*. *Plant Cell Tissue Org. Cult.*, 2003, vol. 73, pp. 137–146. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1022854303371>
20. Rasmusson D.C., Glass R.L. Estimates of genetic and environmental variability in barley. *Crop Sci.*, 1967, vol. 7, pp. 185–188.
21. Sabzehzari M., Hoveidamanesh S., Modarresi M., Mohammadi V. Morphological, anatomical, physiological, and cytological studies in diploid and tetraploid plants of *Ispaghul* (*Plantago ovata* Forsk.). *Genet Resour Crop Evol.*, 2020, vol. 67, pp. 129–137.
22. Sattler M.C., Carvalho C.R., Clarindo W.R. The polyploidy and its key role in plant breeding. *Planta*, 2016, vol. 243, pp. 281–296. <https://doi.org/10.1007/s00425-015-2450-x>
23. Samatadze T. E., Yurkevich O. Y., Khazieva F. M., Basalaeva I. V., Konyaeva E. A., Burova A. E., Zoshchuk S. A., Morozov A. I., Amosova A. V., Muravenko O. V. Agro-Morphological and Cytogenetic Characterization of Colchicine-Induced Tetraploid Plants of *Polemonium caeruleum* L. (*Polemoniaceae*). *Plants*, 2022, vol. 11, 2585. <https://doi.org/10.3390/plants11192585>

24. Tulay E., Unal M. Production of colchicine induced tetraploids in *Vicia villosa* roth. *Caryologia-Firenze*, 2010, vol. 63(3), pp. 292–203.

ВКЛАД АВТОРОВ

Хазиева Ф.М.: морфологические наблюдения, статистическая обработка результатов, подготовка текста статьи.

Басалаева И.В.: морфологические наблюдения, статистическая обработка результатов, подготовка текста статьи.

Коняева Е.А.: анатомические исследования.

Бурова А.Е.: химический анализ.

Саматадзе Т.Е.: цитогенетические исследования, подготовка текста статьи.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Firdaus M. Khazieva: morphological observations, statistical processing of the results, preparation of the text of the article.

Irina V. Basalaeva: morphological observations, statistical processing of the results, preparation of the text of the article.

Elena A. Konyaeva: anatomical studies.

Alla E. Burova: *chemical analysis*.

Tatyana E. Samatadze: cytogenetic studies, preparation of the text of the article.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Хазиева Фирдаус Мухаметовна, канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агробиологии
ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений (ВИЛАР)
ул. Грина, 7, г. Москва, 117216, Российская Федерация
vilar.6@yandex.ru

Басалаева Ирина Владимировна, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агробиологии
ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений (ВИЛАР)
ул. Грина, 7, г. Москва, 117216, Российская Федерация
basalaeva@vilarnii.ru

Коняева Елена Анатольевна, старший научный сотрудник, Испытательный центр Центра химии и фармацевтической технологии

*ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений (ВИЛАР)
ул. Грина, 7, г. Москва, 117216, Российская Федерация
konyaeva@vilarnii.ru*

Бурова Алла Евгеньевна, старший научный сотрудник, Испытательный центр Центра химии и фармацевтической технологии
*ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений (ВИЛАР)
ул. Грина, 7, г. Москва, 117216, Российская Федерация
burova@vilarnii.ru*

Саматадзе Татьяна Егоровна, к. биол. наук, старший научный сотрудник
*Институт молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН
ул. Вавилова, 32, г. Москва 119991, Российская Федерация
tsamatadze@gmail.com*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Firdaus M. Khazieva, PhD Biol., Leading Researcher of the Laboratory of Agrobiology
*All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants (VILAR)
7, Grin Str., Moscow, 117216, Russian Federation
vilar:6@yandex.ru
SPIN-code: 4935-9171
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4454-0773>
Researcher ID: ABE-7689-2020
Scopus Author ID: 57201894817*

Irina V. Basalaeva, Cand. Sci. (Agricult.), Leading Researcher of the Laboratory of Agrobiology
*All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants (VILAR)
7, Grin Str., Moscow, 117216, Russian Federation
basalaeva@vilarnii.ru
SPIN-code: 5969-4480
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8243-3026>*

Elena A. Konyaeva, Senior Researcher, Test Center of the Center for Chemistry and Pharmaceutical Technology

All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants (VILAR)
7, Grin Str., Moscow, 117216, Russian Federation
konyaeva@vilarnii.ru
SPIN-code: 8803-2418

Alla E. Burova, *Senior Researcher*, Test Center of the Center for Chemistry and Pharmaceutical Technology
All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants (VILAR)
7, Grin Str., Moscow, 117216, Russian Federation
burova@vilarnii.ru
SPIN-code: 5887-5933

Tatyana E. Samatadze, PhD Biol., *Senior Researcher*
Engelhardt Institute of Molecular Biology of the Russian Academy of Sciences
32 Vavilova Str., Moscow, 119991, Russian Federation
tsamatadze@gmail.com
SPIN-code: 3414-3514
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1012-3560>
Scopus Author ID: 6603552970

Поступила 25.10.2022

После рецензирования 08.11.2022

Принята 28.11.2022

Received 25.10.2022

Revised 08.11.2022

Accepted 28.11.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-163-177

UDC 636.084



Original article | Animal Husbandry

EFFECT OF DIETARY SUPPLEMENTATION WITH FOSSIL SHELL FLOUR ON ENTERIC METHANE OUTPUT AND POSITION-DEPENDENT VARIATIONS IN DOHNE-MERINO WETHERS

O.O. Ikusika, C.T. Mpendulo

This study aimed to investigate the influence of fossil shell flour (FSF) supplementation levels on Dohne-Merino wethers' position on enteric methane output. Twenty-four Dohne-Merino wethers (20.0±1.50 kg B.W.) were randomly assigned for 84 days to either of four dietary treatments: basal or basal diet supplemented with 2%, 4% or 6%FSF on a dry matter basis. The enteric methane output was measured using a portable Laser Methane Detector (LMD) machine during feeding, standing, and resting activities. The highest volume of enteric methane was obtained from wethers supplemented with 4%, followed by 6%, 0%, and 2% FSF. Higher enteric methane emission was observed for resting wethers than those feeding and standing ($P < 0.05$). Including fossil shell flour in Dohne-merino wethers' diets at 4% and 6% increases enteric methane output ($P < 0.05$). Dohne-merino sheep emit more enteric methane when resting than when feeding or standing idle.

Keywords: fossil shell flour; enteric methane; animal position; Dohne-merino ram

For citation. Ikusika O.O., Mpendulo C.T. Effect of Dietary Supplementation with Fossil Shell Flour on Enteric Methane Output and Position-Dependent Variations in Dohne-Merino Wethers. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 163-177. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-163-177

Introduction

In the last two decades, there has been great concern about global warming due to a rise in the volume of many atmospheric gasses, leading to increased atmospheric temperature [1]. These gases include methane, carbon dioxide, and nitrous oxide often called greenhouse gases. It has been projected that greenhouse effects in the next century will bring about the distribution of new

deserts in the world and change the range of pest that affects plants, which may threaten the existence of animals and human health [2]. The emission of greenhouse gases from the animal production sector and their effects on climate variability is a major concern worldwide [3]. About 98% of CH₄ output accrues to the agricultural sector are from the livestock sector [4]. Ogino et al. [5] observed that enteric methane constituted about 50% to 60% of GHG emitted in ruminant production at the farm scale. The CH₄ emissions from the animal production sector are estimated to be 2.2 billion tons of carbon dioxide equivalent, accounting for 35% of the global anthropogenic methane emissions [6]. However, in sub-Saharan Africa, it is projected to rise [7]. Enteric methane is a natural by-product of the fermentation processes in the large intestine of ruminant animals and is released into the atmospheric environment through breathing [8]. According to [9] nitrous oxide and methane have higher global warming potentials than carbon dioxide. While nitrous oxide has a global warming potential range of 296 to 310 times higher than CO₂, it has been reported that CH₄ is about 25 times more effective in trapping heat in the atmosphere [10, 11]. Depending on the feed intake and rumen activity, the rate of enteric methane production varies with individual animals [12]. Besides its negative effect on global warming, methane accounts for a significant amount of animals' energy loss during grazing or browsing. Sallaku et al. [13 and [1] both reported that energy loss due to methane emission could be as high as 12% of gross energy (G.E.) intake, thereby reducing livestock productivity and the economic efficiency of ruminant production. Therefore, mitigating the emission of CH₄ in ruminants without altering animal production performance is a desirable approach to reducing global greenhouse gases emissions and improving feed conversion efficiency.

Sheep have the largest population among the small stock globally [14] hence their contribution to GHG is high [1]. The Dohne-Merino has been one of the fastest breeds of sheep, spreading across many continents [15, 16] accounting for over 36 % of the GHG emissions from livestock species. The by-product of microbial fermentation of feeds in the rumen of sheep is methane. Sallaku et al. [13] reported that the amount of enteric CH₄ emitted in sheep is influenced by breed and purposes of the animal, quality and type of forage, diet composition, feed intake and digestibility. Also, activities of the animals, such as resting, standing, or feeding, as well as feed additives, have been reported to affect the volume of methane output in other livestock [17]. The animals' position and activities have been reported to affect the amount of methane generated. Roessler et al. [18] reported that when a goat is lying,

it generates more enteric methane than standing. Likewise, [19] observed that when goats are ruminating or resting after a long journey, higher methane is generated than when the animal is standing after feeding.

In recent times, reducing emissions of greenhouse gases from livestock production is attracting the use of supplements or feed additives in manipulating the rumen community. Thota et al. [20] reported that the mean enteric CH₄ emissions (l/day) were significantly lower in sheep fed with probiotics supplemented diet than in sheep fed without probiotics supplementation and reduced by 21.9 per cent as compared to the non-supplemented diets. Similarly, [21] reported that allicin supplementation effectively lowered daily CH₄ emissions in sheep by reducing the population of ruminal protozoans and methanogens. The use of inorganic feed additives to mitigate greenhouse gases is either toxic to the animal or exhibits only transient effects on methanogens [2]. Using natural products as additives to mitigate the emission of greenhouse gas in livestock benefits the livestock, the environment and consumers of the animal.

The most recently sought for use as a feed additive is fossil shell flour (FSF), among the common natural products used as feed additives. Ikusika et al. [22] observed that FSF as a feed additive benefits sheep production in terms of growth performance, feed preference, and wool quality. A little information is available on the impact of FSF in sheep diets on methane gas production. Fossil shell flour is a naturally occurring, silicon-rich sedimentary rock made up of fossilized remains of millions of diatoms, a type of hard-shelled plant algae originally deposited millions of years ago in the earth from dried-up seas and lakes [22, 23]. They are readily available, cost-effective, healthy, and eco-friendly for animals and humans. Because of the antimicrobial activities of FSF, as reported by [24] it would reduce methane production by militating methanogenesis microbes. Against this background, this study investigates the impact of varying FSF supplementation on enteric methane production at a different animal position in Dohne-Merino wethers. It was hypothesized that including fossil shell flour into the diet of Dohne-merino wethers would decrease the enteric methane production.

Methodology

Ethical approval

Ethical clearance was obtained from the University of Fort Hare Animal Ethics and Use committee before the commencement of the feeding trials (approval number: MPE041IKU01).

Study site description

The experiment was conducted at the honeydale farm, University of Fort Hare, Research farm, Alice, South Africa. It lies at a longitude of 26° 50' E, and latitude of 32°46' S. The annual rainfall is between 480-490 mm, and a temperature range between 24.6 °C and 11.1 °C (average is 17.8 °C) at an altitude of 535 meters above sea level.

Animal, experimental design and management

Twenty-four five-month-old Dohne-Merino wethers weighing 20 ± 1.5 kg on average were selected and bought from a commercial farm in Mitford village, Tarkastad, Eastern Cape province, South Africa. The wethers were randomly allotted into four treatments ($n = 6$). They were individually housed (1.5 m × 1.5 m) in a well-ventilated roofed animal building with a concrete floor and exposed to the same environmental condition. The experiment lasted 105 days, excluding 14 days of the adaptation period. The wethers had access to sufficiently clean and fresh water ad libitum daily. Each wether was ear-tagged and labelled for identification on a diet basis.

Experimental Diets

The diets for the wethers consisted of concentrate and hay at a 40:60 ratio. The basal diet was made up of maize (8%), sunflower oil cake (10%), molasses (5%), wheat offal (15%), limestone (1.5%), salt 0.3%, sheep mineral-vitamin premix (0.2%), 30 % teff and 30 % Lucerne. The ingredients were purchased from Monti Feeds (pty) Ltd, East London, South Africa. All ingredients were thoroughly milled and mixed evenly. The feed was formulated to meet the used sheep's nutritional (energy and protein) requirements [25]. The four dietary groups were: basal diet (0%); basal diet +2% FSF; basal diet +4 % FSF and basal diet + 6% FSF. The wethers were fed at 8:00h and 15:00h at 4 % of the body weight (on a dry matter basis). The food-grade Fossil shell flour was purchased from Eco-Earth (Pty) Ltd, Port Elizabeth, South Africa, which produces this product under a license by the Department of Agriculture, Forestry and Fisheries of South Africa.

Proximate analysis of the experimental diets

Dry matter, crude protein, crude fibre, ether extract and total ash of samples were analyzed in triplicates using the standard procedure described in [26]. The proximate composition of the experimental diet is presented in Table1.

Table 1.

Proximate analysis of the experimental diets

Items	Percentage (%)
Maize	8
Sunflower oil cake	10
Molasses	5
Wheat bran	15
Limestone	1.6
Sheep premix	0.2
Salt	0.3
Grinded leucine hay (alfalfa)	30
Grinded teff hay	30
Chemical composition	
Dry matter (% as fed)	95.5
Organic matter	85.22
Energy ME	24.67
Crude Protein	14.56
Ash	10.33
Ether extract	1.7
Crude Fibre	22.60

Mineral analyses

The mineral composition of the dietary FSF used is shown in Table 2. In determining the FSF's mineral content, 5.0 g of the sample was weighed in triplicate and burnt at 550 °C in a muffle furnace for 5.5 hours. The residues were cooled in a desiccator before dissolving in 100 ml of deionized water. Suitable salts of the elements were used to make their standards. The standard mineral solutions were injected into the atomic absorption spectrophotometer (Jenway, FPSP 210 model 6305, United Kingdom), and concentration was obtained. These standards determined Mg, Zn, Fe, Cd, Ca, Al, Mn, and B in an unknown feed sample. Na and K's concentrations were determined using a flame photometer (Jenway Models PFP7 and PFP7/C, Cole-Parmer, United Kingdom).

Table 2.

Mineral composition of Fossil shell flour (FSF)

Items	Quantity
DM %	93
Ca	0.40
% CaO (calculated from %Ca)	0.55

End of table

Mg	0.21
%MgO (calculated from %Mg)	0.34
K%	0.16
Cu (mg/kg)	30
Na (mg/kg)	923
Zn(mg/kg)	118
Fe(mg/kg)	7944
Mn(mg/kg)	69
P (as P ₂ O ₅)	0.037
Sulfate Sulfur (S)%	0.062
Aluminum (Al) %	0.065
Vanadium (V) %	0.00438
Boron (B) %	0.0023

Measurement of methane production

The measurement of methane was done using a laser methane detector LMD (Crowcon Detection Instruments Ltd., Oxford shire, United Kingdom). Measurements were carried out weekly from the trial's inception during three different wethers' activities, including resting, feeding, and standing. Also, during the last 7 days of the experiment, methane output was measured daily for the same three activities of the wethers. Methane gas column density was measured by directing the hand-held LMD machine targeting (visible HeNe) at wethers' nostrils for 25s per wethers at a distance of 2 m. The 2-m space was considered safe to prevent the disturbance of the animal's activity, as described by [27] and [19]. The effect of methane in the atmosphere from the measured results was discounted using the offset function of the LMD. All measurements were taken at approximately the same time of day (1000h-1100h). Three measurements were taken from individual wethers during each activity. Methane eructed was determined per activity using standard respiratory coefficients per activity, then translated to an equivalent emission per day. Methane production was also evaluated in relation to dry matter intake (DMI). A laser methane detector (LMD) measures methane emission in ppm-m, which is not equivalent to g/kg/d. Therefore, to know how much methane is being produced per wether, methane was determined on a DMI basis.

Methane eructed during activity $MTV = MMD \times TVr / 106ml$, [27]

Where: MTV is the enteric methane in breath in ml during ruminating;
MMD is the enteric methane detected by LMD converted from ppm-m to ml.

TVr is the tidal volume during different activities

Tidal volume (feeding) = 3100 ml, tidal volume (standing) = 3800 ml for dairy animals. These were then converted using livestock units to represent sheep, where 0.5 LU cow is equivalent to 0.1 livestock unit (L.U.) sheep [28] for sub-Saharan Africa.

The TVr for sheep were, therefore: TVr feeding = 620 ml, TVr standing = 760 ml, TVr ruminating = 760 ml

Methane eructed per activity per day $MTA = MTV \times RTA$ [27]

MTA is the amount of enteric methane produced during an activity (rumination, feeding, just standing).

Methane eructed per day M.D. = $MTA \times (T.D. \times RTA)$ ml/day [27] Where:
M.D. is daily enteric methane

T.D. is daytime in seconds

RTA is the total time spent on an activity

RTA standing = 1440, RTA feeding = 2880, and RTA ruminating = 7200 By substitution and use of specific density conversion factor, daily enteric methane in grams (MDG) is:

$MDG (g/day) = MD \times 0.00066715$ (CH₄ density in g/ml) [27]

Methane (l/day) = $0.0305 DMI(g/day) - 4.441$ [29] $M (kg/head/day) = DMI \times 0.0188 + 0.00158$ [30].

Statistical analyses

The PROC MIXED procedure of Statistical Analysis Systems Institute [31] for repeated measures was used to test for the significance of inclusion level of FSF and position of wethers on methane volume. Turkey's studentized range test was used to test the significant differences between means. The statistical model used was:

$Y_{ijk} = \mu + T_j + B_j + D_k + (TxBxD)_{ijk} + e_{ijk}$ Where:

Y_{ijk} is methane volume μ is the overall mean

T_j s the effect of diet ($i = 1,2,3,4$) B_j the effect of position ($i=1,2,3$)

D_k is the effect of week ($k, = 1,2,3,4,5,6$)

$(TxBxD)_{ijk}$ is the interaction effect between treatment, week, and position

e_{ijk} is the error term

Results

Table 3 shows enteric methane emission from wethers fed diets with varying FSF levels during different activities. Enteric methane output was lowest in wethers fed on a diet with 0% FSF and highest in those with 6% FSF during standing, feeding, and resting ($P < 0.05$). As the FSF inclusion level increased, enteric methane output increased except for feeding and resting wethers fed on diets with 2 % and 4 % FSF ($P < 0.05$). Across the diets, there were no significant differences for all the activities ($P > 0.05$). The wethers released the highest methane volume when resting and the least when feeding ($P < 0.05$).

Table 4 shows the consecutively measured methane emission, average daily feed intake, and dry matter intake in the last 7 days of the feeding trial. Both the ADFI and the DMI had a linear relationship with the amount of methane produced. Wethers fed 4 % FSF had the highest ADFI and DMI values and produced the highest ($P < 0.05$) methane value. The amount of methane produced by wethers fed on a diet with 0% FSF was significantly lesser than the amount generated by wethers on 4% and 6% FSF, but not from wethers on 2% FSF ($P < 0.05$). Wethers on a 4%FSF diet emitted more methane than the wethers on 0% FSF and other FSF supplemented treatments ($P < 0.05$). In all the diets, wethers generated more methane (g/day) when they were resting than feeding or just standing ($P < 0.05$). In all the activities, wethers fed on a diet with 4 % produced more methane than those on 0 % FSF and other FSF supplemented diets ($P < 0.05$).

Figure 1 shows the amount of methane generated by the wethers on varying amounts of FSF over a period of 12 weeks. From weeks 1-3, the volume of methane produced by wethers fed on 0 %, 2%, 4 %, and 6% FSF of the diets was the same ($P < 0.05$). From weeks 4-6, the volume of methane emitted by wethers on 0% FSF began to be lesser than those on 2%, 4%, and 6% FSF of the diets. From weeks 7 -12, the volume of methane emitted was significantly higher in the FSF supplemented diets compared to the 0% FSF diet ($P < 0.05$).

Figures 2 shows the effect of different activities of wethers on methane output at 0%, 2%, 4% and 6% FSF diets. Methane output was highest ($P < 0.05$) during resting and lowest during feeding at the varying inclusion levels of FSF. The methane emitted during resting was significantly different ($P < 0.05$) from the volume emitted during feeding activities. In all the activities, methane output increased as the FSF inclusion levels increased up to 4% FSF levels and declined after that.

Table 3.

Enteric methane emission from Dohne-merino wethers fed on varying FSF levels during different activities in the last seven days of the trial

Activity	Levels of FSF inclusion				SEM
	0 %	2 %	4 %	6 %	
Standing	17.74 ^a	18.54 ^a	21.86 ^a	25.71 ^a	4.66
Feeding	15.83 ^a	22.52 ^a	13.24 ^a	19.31 ^a	4.81
Resting	38.63 ^a	42.46 ^a	42 ^a	47.50 ^a	11.25

^{abc} mean values with different superscripts across the row are significantly different ($P < 0.05$).

Table 4.

Enteric methane emission from Dohne-merino wethers fed on varying inclusion levels of FSF (grams /day)

Activity	Levels of FSF inclusion				SEM
	0 %	2 %	4 %	6 %	
ADFI (g)	84.69 ^c	92.86 ^{bc}	121.42 ^a	105.35 ^b	9.53
DMI (g)	576.29 ^c	546.11 ^d	665.76 ^a	619.84 ^b	11.84
Methane (l/day)	17.27	16.66	20.30	18.90	0.32
Methane kgDMI/year/	3,887.25	3,748.55	4569.8	4252.25	81.22
Methane (g/kg DMI)	10.65	10.27	12.52	11.65	0.218
Methane (g/day)					
Standing	0.0046	0.0125	0.0198	0.023	0.000147
Feeding	0.0114	0.0017	0.0124	0.0141	0.0024
Resting	0.036	0.0511	0.301	0.0438	0.00041

^{abc} mean values with different superscripts across the row are significantly different ($P < 0.05$).

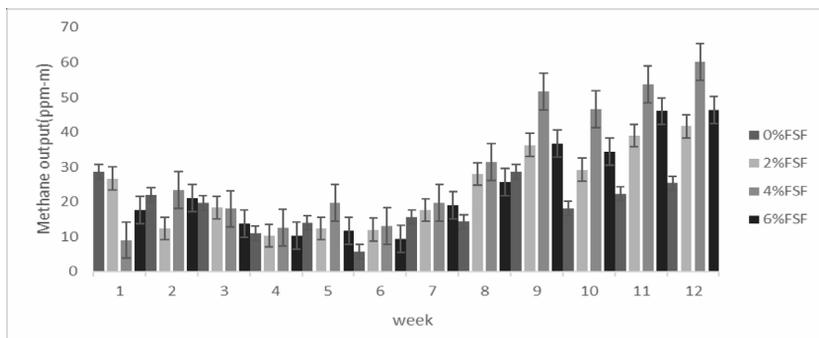


Fig. 1. Methane emission of Dohne-merino wethers at varying Fossil shell flour levels measured for 12 weeks shown as means \pm standard errors. 0 % FSF, 2 %, FSF, 4 % FSF, and 6 % FSF

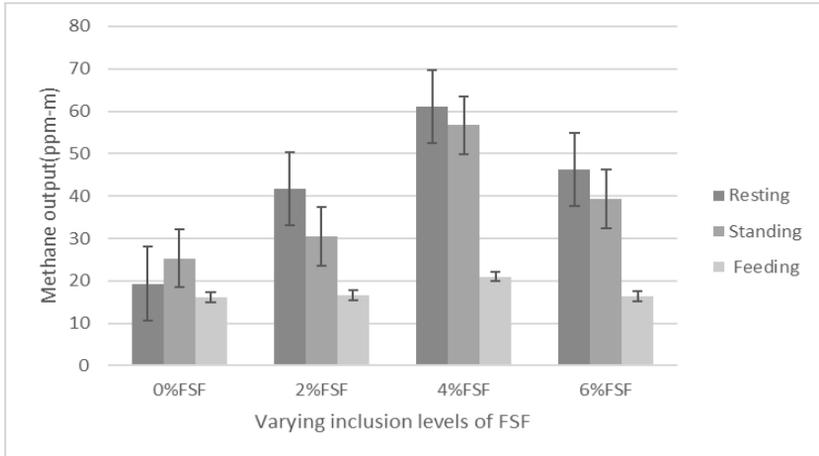


Fig. 2. Methane emission at different positions of Dohne-merino wethers fed basal diet +2%, 4% and 6% FSF shown as means \pm standard errors

Discussion

The current study found that daily methane emissions (ppm-m) increased as the FSF inclusion levels increased. This was also true of both the ADFI and DMI, which increased as the FSF inclusion increased. Scholtz et al. [17] and [32] observed in their studies that when livestock consume more feed, they produce more gas than their control). Ramin and Huhtanen [33] and [34] reported that the total methane emitted by an animal is determined mainly by the DMI of the feed consumed by that animal. The results of this study align with the report from these authors. The DMI of FSF supplemented treatments was higher than the DMI of the wethers on 0 %FSF. Hence, the methane output of the supplemented diets was higher than those wethers on 0 %FSF. The reason could be because FSF increased the feed intake of the wethers, thereby increasing the DMI (g/kg) hence more feed content for fermentation. The higher methane output in wethers on FSF supplemented diets compared to those on 0 % FSF observed in this study agrees with [35] report, which considered the influence of the different amounts of FSF on in vitro gas production from West Africa Dwarf sheep. This result suggests that FSF promotes methanogen or protozoan populations. Newbold et al. [36] and [21] reported that methanogens in rumen fluid could contribute up to 25% methane emissions in sheep.

Though the result obtained for wethers on FSF supplemented diets (between 10.27 to 12.52 g/kg D.M.) were higher compared with wethers of FSF

non-supplemented diet (10.65 g/kgDM), it is still lower than the estimation given for South Africa commercial sheep by [34]. This study also observed that more methane was emitted during the 8th and 12th week compared to the 1st to 7th week. Methane output was inconsistent in the early period of the trial. Hence, methane from wethers on 0 % FSF was higher than those on 2 %, 4 %, and 6 % FSF during the 1st and 3rd week. However, wethers on FSF supplemented diets emitted far higher methane volume than 0 % FSF during the last 5 weeks of the trial. This could be because FSF has increased the palatability of the FSF supplemented diets, thereby increasing the average daily feed intake, which increases the amount of methane generated from such wethers.

The animal's position and activities during the day affect the amount of enteric methane generated at a particular time [37]. A positive relationship in methane output has been observed between lying behaviour and rumination activities in dairy cows [38]. Similarly, [19] reported a positive correlation between CH₄ output and animal activities. During the day, an animal is either eating, standing, or resting (during which they ruminate on what they have eaten), and these 3 positions were considered. Chagunda et al. [27] and [19] reported that when an animal is quiet and relaxed during rumination, methane emission is higher than when an animal is eating or standing. The result obtained from this study agreed with these authors' reports, in that the wethers emitted more methane output during resting than when standing or feeding. The explanation could be that when an animal is eating (feeding), lesser microbial activities in the rumen (reservoir of microbes) are going on compared to when the wether is resting. When wethers are eating, most activities occur in the mouth. At this stage, enzymes and very few counts of microbes contained in the saliva are involved. Also, continued dilution of the rumen during eating and peristaltic contractions for disturbance of microbial activities compared to the resting period decreases methane production. During the eating period, particles are also larger, thereby reducing microbial activity. However, when wethers are resting, regurgitation is one characteristic they exhibit. This involves bringing back from the rumen to the mouth, feeds they have previously swallowed while feeding for proper chewing, grinding, and mixing. Regurgitation breaks down, feeds into small particles, increases surface area for rapid fermentation, and releases more soluble locked-in crystalline structures, making them available. Therefore, more methane is produced due to more soluble, allowing room to increase microbial growth and population.

Conclusion

In this study, methane production from Dohne Merino wethers was relative to the animal activity, with resting producing more gas than when feeding or standing. Diets supplemented with FSF produce more methane gas than non-supplemented diets. When feeding of FSF goes beyond 5 weeks, a greater volume of methane may be generated because of an increase in average daily feed intake promoted by the continuous addition of FSF. The enteric methane production is directly proportional to ADFI and DMI of the wether.

Funding. This research received no external funding.

Disclosure of statement. The authors report no conflict of interest.

Data availability statement. Data will be available on request

Acknowledgement. The authors wish to acknowledge the Department of Livestock and Pasture Science, University of Fort, South Africa, for providing the platform and enabling environment for research

References

1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Press Release 8 October 2018. (accessed on 11/04/2019)
2. Moss A.R., Jouany J.P., Newbold J. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Annales de Zootechnie*, 2000, vol. 49, pp. 231–253. <https://hal.science/hal-00889894>
3. Alemu A.W., Dijkstra J., Bannink A., France J., Kebreab E. Rumen stoichiometric models and their contribution and challenges in predicting enteric methane production. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 2011, vol. 166–167, pp. 761–778. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.054>
4. Otter L. The South African agricultural GHG inventory. Department of Agriculture, Forestry and Fisheries, 2010. South Africa.
5. Ogino A., Orito H., Shimadai K., Hirooka H. Evaluating environmental impacts of the Japanese beef cow-calf system by the life cycle assessment method. *Anim. Sci. J.*, 2007, vol. 78, pp. 424–432. <https://doi.org/10.1111/j.1740-0929.2007.00457.x>
6. Food and Agriculture Organization (FAO). Statistical Yearbook, 2013. Rome, Italy.
7. Tanaka K., O'Neill B.C. The Paris Agreement zero-emissions goal is not always consistent with the 1.5 °C and 2 °C temperature targets. *Nat. Clim. Change*, 2018, vol. 8, pp. 319–324. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0097-x>
8. Wiedemann S.G., Yan M.J., Henry B.K., Murphy C.M. Resource use and greenhouse gas emissions from three wool production regions in Australia.

- J. Clean. Prod.*, 2016, vol. 122. pp. 121–132. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.025>
9. Fraser M.D., Fleming H.R., Theobald V.J., Moorby J.M. Effect of breed and pasture type on methane emissions from weaned lambs offered fresh forage. *J. Agric. Sci.*, 2015, vol. 153(6), pp. 1128–1134. <https://doi.org/10.1017/S0021859615000544>
 10. Intergovernment Panel on Climate Change (IPCC). guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eds: Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. Published: IGES, 2006. Tokyo, Japan.
 11. Australian National Greenhouse Accounts: National Inventory Reports (ANIR). Climate Change and Energy Efficiency, Commonwealth of Australia, 2009. Canberra, ACT.
 12. Chaturvedi I., Dutta T.K., Singh P.K., Sharma A., Kumar M., Rao B. Effect of Herbal Feed Additives on IVDMD, Methane and Total Gas Production Via in-vitro Study. *J. Agroecol. Nat. Resour. Manag.*, 2014, vol. 1(2), pp. 108-112.
 13. Sallaku E., Vorpsi V., Jojic E., Sallaku F., Dodona E. Evaluation of methane emissions from animal farms in Shkodra district-Albania. *Res. J. Agric. Sci.*, 2011, vol. 43, pp. 484- 489.
 14. Food and Agriculture Organization (FAO). Statistical Yearbook. 2017. Rome, Italy
 15. McMaster, C. Birth of a breed. The Dohne Merino Story. Simon Says Advertising, 2015. Port Elizabeth, RSA.
 16. Cardellino, R. 2016. The Dohne In South America. Cardellino Delta Consultants, 2016. Montevideo, Uruguay.
 17. Scholtz M.M., Van Rysse J.B.J., Meissner H.H., Laker M.C. A South African perspective on livestock production in relation to greenhouse gases and water usage. *South African Journal of Animal Science*. 2013, vol. 43(3), pp. 247-254. <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v43i3.2>
 18. Roesler R., Chefor F., Schlecht E. Using a portable laser methane detector in goats to assess diurnal, diet- and position-dependent variations in enteric methane emissions. *Comput. Electron. Agric.* 2018, vol. 150, pp. 110-117. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.04.010>
 19. Washaya S., Mupangwa J., Muchenje V. Chemical composition of Lablab purpureus and Vigna unguiculata and their subsequent effects on methane production in Xhosa lop-eared goats. *S. Afr. J. Anim. Sci.*, 2018, vol. 48(3), pp. 445-458. <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v48i3.5>
 20. Thota P., Mahender S.C., Ramana D.B.V. Effect of Probiotic Supplementation on Nutrient Digestibilities, Growth Performance and Enteric Methane Emissions

- in Deccani Ram Lambs. *J. Anim. Res.*, 2017, vol. 7(6), pp. 1009-1017. <https://doi.org/10.5958/2277-940X.2017.00152.8>
21. Ma T., Chen D., Tu Y., Zhang N., Si B., Deng K., Diao Q. Effect of supplementation of allicin on methanogenesis and ruminal microbial flora in Dorper crossbred ewes. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2016, vol. 7(1), pp. 1-7. <https://doi.org/10.1186/s40104-015-0057-5>
 22. Ikusika O.O., Mpendulo C.T., Zindove T.J., Okoh A.I. Fossil Shell Flour in Livestock Production: A Review. *Animals*, 2019, vol. 9(3), pp. 1–20. <https://doi.org/10.3390/ani9030070>
 23. Koster H. Diatomite in Animal Feeds. 2013. <https://www.agrisilica.co.za/en/8-diatomite-in-animal-feeds>
 24. Chen Y., Liu K. Preparation of granulated N-doped TiO₂/diatomite and its application of visible light degradation and disinfection. *Power Tech.*, 2016, vol. 303, pp. 176-191. <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2016.09.038>
 25. National Research Council (NRC). Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids. 2007. Washington, D.C. USA.
 26. Association of Officiating Analytical Chemists (AOAC). Official Method of Analysis Association of Officiating Analytical Chemist, 18th ed.; Association of Officiating Analytical Chemists: Washington, DC, USA, 2005.
 27. Chagunda M.G.G., Ross D., Roberts D.J. On the use of a laser methane detector in dairy cows. *Comput. Electron. Agric.*, 2009, vol. 68(2), pp. 157–160. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.05.008>
 28. Chilonda P., Otte J. Indicators to monitor trends in livestock production at national, regional and international levels. *Livestock Research for Rural Development*, 2006, vol. 18(8), article 117. <https://lrrd.cipav.org.co/lrrd18/8/chil18117.htm> (accessed on 21/11/2019).
 29. Shibata M., Terada F., Iwasaki K., Kurihara I., Nishida T. Methane production in heifers, sheep and goats consuming various hay concentrate ratio diets. *Anim. Sci. Technol.*, 1992, vol. 64, pp. 790-796. https://www.jstage.jst.go.jp/article/chikusan1924/63/12/63_12_1221/_pdf
 30. Howden S.M., Reyenga P.J. Methane emissions from Australian livestock: implications of the Kyoto Protocol. *Aust. Journal of Agric. Res.*, 1999, vol. 50(8), pp. 1285–1292. <https://doi.org/10.1071/AR99002>
 31. Statistical Analysis System(SAS) version 9.1. Inst. Inc., Cary, NC, USA.
 32. Tao H., Guo F., Tu Y., Si B., Xing Y., Huang D., Diao Q. Effect of weaning age on growth performance, feed efficiency, nutrient digestibility and blood-biochemical parameters in Droughtmaster crossbred beef calves. *Asian-Australas J Anim Sci.*, 2018, vol. 31(6), pp. 864–872. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0539>

33. Ramin M., Huhtanen P. Development of equations for predicting methane emissions from ruminants. *J. Dairy Sci.*, 2013, vol. 96(4), pp. 2476–2493. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6095>
34. Du Toit C.J.L., van Niekerk W.A., Meissner H.H. Direct greenhouse gas emissions of the South African small stock sectors. *South African J. Anim. Sci.*, 2013, vol. 43, pp. 340–361. <https://doi.org/10.4314/sajas.v43i3.8>
35. Emeruwa C.H. Growth Performance of West African Dwarf Sheep Fed Diets Supplemented with Fossil shell flour., University of Ibadan, Nigeria. 2016.
36. Newbold C.J., Lassalas B. J.P. The importance of methanogens associated with ciliate protozoa in ruminal methane production in vitro. *Lett. Appl. Microbiol.*, 1995, vol. 21(4), pp. 230–234. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765x.1995.tb01048.x>
37. Chagunda M.G.G. Opportunities and challenges in using the Laser Methane Detector to monitor enteric methane emissions from ruminants. *Animal*, 2013, vol. 7, pp. 394–400. <https://doi.org/10.1017/S1751731113000724>
38. Grobler S.M., Scholtz M.M., van Rooyen H., Mpayipheli M., Nesor F.W.C. Methane production in different breeds, grazing different pastures or fed a total mixed ration, as measured by a laser methane detector. *South African J. Anim.Sci.*, 2014, vol. 44, pp. S12– S16. <http://www.scielo.org.za/pdf/sajas/v44n5/03.pdf>

AUTHORS CONTRIBUTION

Ikusika Olusegun carried out conceptualization, investigation, writing, data collection and methodology, while Thando Mpendulo did the statistical analysis, supervision and validation of the research work.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Olusegun Oyebade Ikusika

*Department of Livestock and Pasture Sciences, Faculty of Science and Agriculture, University of Fort Hare
1, King Williamstown Rd, Alice, 5700, Eastern Cape, South Africa
Oikusika@ufh.ac.za*

Conference Thando Mpendulo

*Department of Livestock and Pasture Sciences, Faculty of Science and Agriculture, University of Fort Hare
1, King Williamstown Rd, Alice, 5700, Eastern Cape, South Africa*

Поступила 25.06.2022

Received 25.06.2022

После рецензирования 07.08.2022

Revised 07.08.2022

Принята 21.11.2022

Accepted 21.11.2022

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

PUBLIC HEALTH AND PREVENTIVE MEDICINE

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-178-194

УДК 614.2



Научная статья | Здравоохранение

ИНФОРМИРОВАННОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ О КАРДИОВАСКУЛЯРНЫХ ФАКТОРАХ РАЗВИТИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ КАК РЕЗУЛЬТАТ ПРИМЕНЕНИЯ ПОПУЛЯЦИОННОЙ СТРАТЕГИИ

С.А. Федоткина, Э.В. Хугаева

На государственном уровне в разные годы осуществлялись мероприятия для формирования устойчивого понимания населением значимости здоровья, как персональной ценности. Это связано с глобальными стратегическими интересами Российской Федерации в сохранении и укреплении здоровья населения.

В нашем исследовании была проанализирована информированность пациентов трудоспособного возраста первичного звена здравоохранения о факторах риска развития кардиоваскулярных заболеваний и их частоту встречаемости с учетом стандартизации статификации показателей за 5 лет (2014-2018 годы) в кабинете профилактики артериальной гипертензии.

***Материалы и методы.** Исследование проведено на базе городских поликлиник Красносельского района города Санкт-Петербурга в два этапа. На первом этапе проведен социологический опрос по специально разработанной анкете. На втором этапе проведен анализ 807 случаев обращений пациентов в возрасте от 18 до 65 лет в кабинет профилактики артериальной гипертензии.*

В результате социологического опроса респонденты как среди мужчин, так и среди женщин достаточно хорошо информированы о влиянии ряда поведенческих факторов риска на возникновение и развитие кардиоваскулярных заболеваний.

Заключение. Отмечена высокая информированность о факторах риска развития неинфекционных заболеваний, в том числе кардиоваскулярных, у пациентов трудоспособного возраста, что является положительным результатом осуществления популяционной и стратегии высокого риска.

Но существуют значительные резервы оздоровления поведения для тех, кто готов изменить его в пользу выбора здорового образа жизни.

В рамках первичного звена здравоохранения диспансеризация и профилактические медицинские осмотры, направлены на повышение информированности населения о факторах риска развития неинфекционных, в том числе кардиоваскулярных заболеваний путем медицинских консультаций. Работа Центров Здоровья, кабинетов профилактик, Школ Здоровья, должна быть направлена на низко информированных пациентов, обследовать и определять функциональные резервы их организма с возможностью последующей коррекции выявленных нарушений.

В нашей работе низкая информированность была отмечена у 13% респондентов. Низкая информированность пациентов создает высокий риск неблагоприятных исходов заболеваний. Если пациент понимает суть своего заболевания и важность следования рекомендаций врача, то ситуация может измениться к лучшему.

Ключевые слова: стратегия высокого риска; медицинская информированность населения; кардиоваскулярные факторы риска развития заболеваний; профилактика; артериальная гипертензия; неинфекционные заболевания; популяционная стратегия

Для цитирования. Федоткина С.А., Хугаева Э.В. Информированность населения о кардиоваскулярных факторах развития заболеваний как результат применения популяционной стратегии // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №2. С. 178-194. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-178-194

Original article | Health Care

AWARENESS OF THE POPULATION ABOUT CARDIOVASCULAR FACTORS OF THE DEVELOPMENT OF DISEASES AS A RESULT OF THE APPLICATION OF A POPULATION STRATEGY

S.A. Fedotkina, E.V. Khugaeva

At the state level, measures have been carried out in different years to form a sustainable understanding of the importance of health as a personal value by the

population. This is due to the global strategic interests of the Russian Federation in preserving and strengthening the health of the population.

In our study, the awareness of working-age patients of primary health care about the risk factors for the development of cardiovascular diseases and their frequency of occurrence was analyzed, taking into account the standardization of statistical indicators for 5 years (2014-2018) in the office of prevention of hypertension.

Materials and methods. The study was conducted on the basis of urban clinics of the Krasnoselsky district of St. Petersburg in two stages. At the first stage, a sociological survey was conducted using a specially designed questionnaire. At the second stage, an analysis of 807 cases of patients aged 18 to 65 years in the office of prevention of arterial hypertension was carried out.

As a result of the sociological survey, respondents among both men and women are well informed about the influence of a number of behavioral risk factors on the occurrence and development of cardiovascular diseases.

Conclusion. There is a high awareness of risk factors for the development of non-communicable diseases, including cardiovascular diseases, in patients of working age, which is a positive result of the implementation of a population and high-risk strategy.

But there are significant reserves for improving behavior for those who are ready to change it in favor of choosing a healthy lifestyle.

Within the framework of primary health care, medical examinations and preventive medical examinations are aimed at increasing the awareness of the population about risk factors for the development of non-communicable, including cardiovascular diseases through medical consultations. The work of Health Centers, prevention offices, Health Schools should be aimed at low-informed patients, examine and determine the functional reserves of their body with the possibility of subsequent correction of the identified disorders.

In our work, low awareness was noted in 13% of respondents. Low awareness of patients creates a high risk of unfavorable outcomes of diseases. If the patient understands the essence of his illness and the importance of following the doctor's recommendations, then the situation may change for the better.

Keywords: high-risk strategy; medical awareness of the population; cardiovascular risk factors for the development of diseases; prevention; arterial hypertension; non-infectious diseases; population strategy

For citation. Fedotkina S.A., Khugaeva E.V. Awareness of the Population about Cardiovascular Factors of the Development of Diseases as a Result of the Application of a Population Strategy. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 178-194. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-178-194

Введение

Высокий уровень заболеваемости, инвалидности, смертности от сердечно-сосудистых (кардиоваскулярных) заболеваний приводит к большим экономическим потерям, обусловленным как прямыми затратами на оказание медицинской помощи, в том числе высокотехнологичной, так и экономическим потерям вследствие сокращения трудовых ресурсов из-за преждевременной смертности, инвалидности и временной нетрудоспособности [1-5, 20, 23-30].

Кардиоваскулярные заболевания являются не только медицинской, но и социальной проблемой. Они стали предметом обсуждения и принятия политических обязательств на международных площадках высокого уровня. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) и Организация объединенных наций (ООН) [30] призвали объединить усилия всех слоев общества, секторов экономик и ускорить внедрение эффективных мер для профилактики и борьбе с сердечно-сосудистыми заболеваниями.

Проведенное крупномасштабное исследование «РЕЛИФ» в 2006 году на территории Российской Федерации [15, 16] свидетельствовало о низком уровне медицинской информированности пациентов в отношении кардиоваскулярных факторов риска развития заболеваний и осложнений.

Информирование пациентов о факторах риска развития неинфекционных, в том числе кардиоваскулярных заболеваний, проводится в рамках профилактического консультирования в медицинских организациях первичного звена здравоохранения, которое занимает важнейшее место в стратегии высокого риска [6, 8, 13, 16].

Профилактика кардиоваскулярных заболеваний должна быть направлена на пропаганду здорового образа жизни у населения, создание условий для населения по ведению здорового образа жизни, оценку кардиоваскулярных факторов риска развития заболеваний, суммарного сердечно-сосудистого риска и его снижению за счет модификации всех имеющихся факторов риска, раннюю диагностику сердечно-сосудистых заболеваний [18-20].

В течение последних десятилетий в России реализуются профилактические меры, в рамках диспансеризации и профилактических медицинских осмотрах, направленные на повышение информированности населения о факторах риска развития неинфекционных, в том числе, сердечно-сосудистых заболеваний. Существующая нормативно-правовая база на сегодняшний день, направлена на создание эффективной инфраструктуры медицинской профилактики в медицинских организациях первичного звена здравоохранения [9-12]. Внедрение намеченных мер должно привести к снижению преждевременной смертности практически на 30% к 2030 году [21].

В медицинских организациях города Санкт-Петербург, в 73-х поликлиниках для взрослого населения организовано 225 Школ Здоровья, из них 71 школа для пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями [12].

Цель исследования – оценить уровень информированности и частоту распространенности сердечно-сосудистых факторов риска развития заболеваний у лиц трудоспособного возраста.

Материалы и методы

Исследование проводилось в два этапа, на базе городских поликлиник Красносельского района города Санкт-Петербурга, структурно-организационная работа которых является типичной для первичного звена здравоохранения.

В Красносельском районе, где проводилось наше исследование, проживает более 350 тыс. взрослого населения, в состав которого входит 6 муниципальных округов и г. Красное село.

На первом этапе, в рамках научной работы, нами выполнено медико-социальное исследование по специально разработанной анкете, которая состояла из двух разделов и 20 вопросов. Для достижения поставленной цели мы выбрали вопросы с констатирующими ответами, оценивающие профилактическую активность пациентов и уровень их информированности о факторах риска развития заболеваний.

Статистическая обработка полученных данных выполнена на основе пакета программ статистического анализа и мастера диаграмм в Microsoft Office, Excel 2010.

Для количественных показателей описательная статистика представлена в виде среднего и стандартного отклонения $M(SD)$, нормальность выборочных распределений определялась при помощи критерия Шапиро-Уилка. Для качественных показателей описательная статистика указана в виде $N(n\%)$, то есть количество объектов, обладающих данным признаком и процент от общего количества объектов в выборке.

На втором этапе работы проанализировано 983 случая обращения населения в кабинет профилактики артериальной гипертензии. В обработку взято 807 случаев обращений лиц в возрасте от 18 до 65 лет, подходящих по цели нашего исследования. Сбор и обработка информации проводилось в системе «Кардиометр-МТ» ЗАО «МИКАРД-ЛАНА» (Россия). Данная система включена в типовое оснащение кабинета профилактики артериальной гипертензии. Для обработки данных применен ретроспективный анализ комплекса автоматизированной интегральной оценки состояния сердечно-сосудистой системы по материалам анализа – электронной базы данных кабинета артериальной гипертензии.

Результаты

В медико-социальном исследовании приняли участие 200 человек, причём женщин в 2 раза больше, чем мужчин 59 и 41% соответственно. Все респонденты были распределены на 4 группы по полу-возрастному составу. Средний возраст обратившихся составил 42,9(12,8) лет 40(21) года.

В результате обработки анкеты, было установлено, что из обратившихся в поликлиники за медицинской помощью наиболее информированными о сердечно-сосудистых факторах риска развития заболеваний оказались мужчины 41-50 летнего возраста (36,5%) и женщины 31-40 летнего возраста (31,8%). А наименее информированными оказались как среди мужчин, так и среди женщин пациенты 18-30 летнего возраста (табл. 1).

Респонденты наиболее информированы о тех факторах развития, которые наиболее актуальны в их повседневной жизни.

Молодые участники опроса (18-40 лет) наиболее важными факторами риска считают наследственную предрасположенность, избыточное потребление алкоголя и табакокурение, а респонденты старше 41 года интересовались такими факторами, как табакокурение, психоэмоциональное и физическое переутомление.

В результате сравнительного анализа ответов по гендерному признаку отмечено, что женщины более информированы о таких факторах риска развития заболеваний как: избыточная масса тела, употребление алкогольных и энергетических напитков, о наследственной предрасположенности, табакокурение и несоблюдение режима труда и отдыха. Менее информированы о физическом переутомлении, монотонности труда и недостаточности физической активности и психоэмоциональном переутомлении.

Мужчины наиболее информированы о табакокурении, физическое переутомление и об избыточной массе тела и ожирении. Менее осведомлены о наследственной предрасположенности, употреблении алкогольных и энергетических напитков, несоблюдении режима труда и отдыха, психоэмоциональное переутомлении, монотонность труда и недостаточность физической активности.

Таким образом, респонденты как среди мужчин, так и среди женщин достаточно хорошо информированы о влиянии основных поведенческих факторов риска на возникновение и развитие сердечно-сосудистых заболеваний.

Далее в нашей работе были проанализировали обращения пациентов в кабинет профилактики артериальной гипертензии с 2014 по 2018 годы от 18 до 65 лет с факторами риска развития неинфекционных, в том числе сердечно-сосудистых заболеваний в 807 случаях.

Таблица 1.

Уровень информированности пациентов, обратившихся в кабинет профилактики артериальной гипертензии о кардиоваскулярных факторах риска развития заболеваний по полу и возрасту

Знают о таких факторах риска развития ССЗ как	пол	Возраст									
		18- 30		31 – 40		41 – 50		51 и ст.		всего	
		абс.	%	абс.	%	абс	%	абс	%	абс	%
Употребление алкогольных и энергетических напитков	М	9	75,0	19	86,4	24	96,0	16	88,9	68	88,3
	Ж	17	85,0	36	100,0	26	92,9	28	90,3	107	93,0
Об избыточной массе тела и ожирении	М	9	75,0	20	90,9	24	96,0	14	77,8	67	87,0
	Ж	19	95,0	34	94,4	25	89,3	29	93,5	107	93,0
О наследственной предрасположенности	М	9	75,0	19	86,4	23	92,0	14	77,8	65	84,4
	Ж	18	90,0	34	94,4	26	92,9	29	93,5	107	93,0
Табакокурение	М	10	83,3	22	100,0	24	96,0	14	77,8	70	90,1
	Ж	18	90,0	36	100,0	24	85,7	28	90,3	106	92,2
О несоблюдении режима труда и отдыха	М	9	75,0	22	100,0	22	88,0	15	83,3	68	88,3
	Ж	19	95,0	35	97,2	28	100,0	24	77,4	106	92,2
Психоэмоциональное переутомлении	М	9	75,0	21	95,5	24	96,0	14	77,8	68	88,3
	Ж	17	85,0	35	97,2	24	85,7	25	80,6	101	87,8
Физическое переутомлении	М	9	75,0	21	95,5	23	92,0	16	88,9	69	89,6
	Ж	18	90,0	32	88,9	23	82,1	23	74,2	96	83,5
Монотонность труда и недостаточность физической активности	М	9	75,0	21	95,5	20	80,0	14	77,8	64	83,1
	Ж	16	80,0	35	97,2	24	85,7	21	67,7	96	83,5

Из них мужчины обратились 382 раза, женщины 425 раз, что составило 47,4% и 52,5% соответственно. Возрастной диапазон обратившихся составил 43(13) лет. За исследуемый период обращаемость в кабинет профилактики артериальной гипертензии в период от 2014 г. к 2018 г. снижалась.

На фоне снижения обращаемости пациентов в кабинет профилактики артериальной гипертензии было отмечено снижение распространенности основных кардиоваскулярных факторов риска развития заболеваний с 2014 г. по 2017 г., а в 2018 год отмечен их резкий рост (табл. 2).

Таблица 2.

Частота встречаемости кардиоваскулярных факторов риска развития заболеваний у пациентов кабинета профилактики артериальной гипертензии за период с 2014 по 2018 годы

Наличие факторов риска развития неинфекционных, в том числе сердечно-сосудистых заболеваний	Годы										Всего выявлено за весь период с 2014-2018 гг.	
	2014		2015		2016		2017		2018			
	абс.	%	абс.	%								
Гиперхолестеринемии	243	83,0	57	43,9	50	37,3	44	29,3	65	67,0	459	56,9
Ожирения	121	41,3	53	39,8	39	29,1	51	34,0	54	55,7	318	39,4
Избыточная масса тела	103	35,2	41	30,8	47	35,1	50	33,3	54	55,7	295	36,6
Наследственный фактор	104	35,5	6	4,5	16	11,9	46	31,7	54	55,7	226	28,0
Табакокурение	53	18,1	8	6,0	6	4,5	9	6,0	22	22,7	98	12,1
Артериальная гипертензия (как фактор риска)	39	13,3	17	12,8	9	6,7	10	6,7	28	28,9	103	12,8
Употребление алкоголя	2	0,7	0	0,00	0	0,00	0	0,00	17	17,5	26	3,2
Гиподинамия	3	1,0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	31	32,0	42	5,2

Так, в нашем исследовании чаще всего выявлялись: ожирение (39,4%) и избыточная масса тела (36,6%) как модифицируемый фактор риска развития сердечно-сосудистых заболеваний (в совокупности у 76% пациентов) за весь период наблюдения; гиперхолестеринемия – в 56,9% случаях. Причем у женщин в возрасте до 40 лет гиперхолестеринемия встречалась чаще.

Из других модифицируемых факторов риска развития сердечно-сосудистых заболеваний отмечен волнообразный рост частоты встречаемости таких факторов риска как: артериальная гипертензия (как фактора риска) на 15,6%; употребление алкоголя на 17,5%; табакокурения на 4,6%, причем особенно у мужчин в возрастной 50 лет и старше; гиподинамии на 31,0%. При этом, случаи гиподинамии и употребления алкоголя в целом с 2015 по 2017 гг. не было выявлено вообще, а отмечались только в 2014 и 2018 гг. Из немодифицируемых факторов риска развития сердечно-сосудистых заболеваний выявлен рост частоты встречаемости наследственной предрасположенности к развитию сердечно-сосудистых заболеваний на 20,2%.

Обсуждения

Каждый человек при рождении имеет определенный набор биологических характеристик (пол, наследственная предрасположенность), которые позволяют иметь определенный индекс здоровья. Однако, в процессе социализации,

каждый вырабатывает для себя определенную модель поведения, которую можно подразделить на положительную (действия, направленные на сохранение и продление жизни посредством ведения здорового образа жизни и минимизации или отсутствия поведенческих (модифицированных) факторов риска развития неинфекционных заболеваний (табакокурение, употребление алкогольных напитков, сбалансированное питание и т.д.) и отрицательную модель поведения (направленная на ухудшение и снижение уровня здоровья посредством ведения не здорового образа жизни) [7, 13, 14].

Проведенное нами медико-социальное исследование было направлено на выявление взаимосвязи информированности пациентов о факторах риска развития сердечно-сосудистых заболеваний, и их наличием у пациентов трудоспособного возраста.

Результаты показали, что большинство пациентов трудоспособного возраста (80-93%) не зависимо от пола и возраста достаточно хорошо информированы о влиянии поведенческих факторов риска на возникновение и развитие сердечно-сосудистых заболеваний. Это хороший показатель по сравнению с результатами предыдущих исследований в разные годы (2006-2017 годы) [2, 13, 15, 16, 26], в которых были выявлены как низкая обращаемость в медицинские организации с профилактической целью, так и низкий уровень медицинской информированности пациентов.

Такой результат свидетельствует о положительном эффекте государственных мер по профилактике развития неинфекционных, в том числе кардиоваскулярных заболеваний, осуществления популяционной и стратегии высокого риска.

Достижению такого результата способствовало планомерное проведение профилактических медицинских осмотров и диспансеризации взрослого населения, открытие Центров Здоровья, кабинетов профилактики, Школ Здоровья, которые в свою очередь обеспечили достаточно высокие уровни обращаемости в медицинские организации и информированности населения Российской Федерации о факторах риска развития неинфекционных, в том числе кардиоваскулярных заболеваний.

Низкая информированность пациентов создает высокий риск неблагоприятных исходов течения болезни и осложнений. Именно у этих пациентов чаще фиксируются поведенческие факторы риска (табакокурения, употребление алкоголя, гиподинамии, несбалансированного питания) и отягощение функционального состояния сердечно-сосудистой системы до гипертонической болезни и осложнений (острый инфаркт миокарда и острое нарушение мозгового кровообращения). В нашей работе отмечено,

что лишь у 12-13% респондентов недостаточно информированы о факторах риска развития заболеваний вообще.

С целью выявления зависимости между самооценкой респондентов, их состоянием здоровья и реальным поведением, в кабинете профилактики артериальной гипертензии была проведена оценка частоты встречаемости факторов риска развития сердечно-сосудистых заболеваний у лиц трудоспособного возраста.

Из 807 обратившихся пациентов с 2014 по 2018 годы, чаще всего выявлялись модифицируемые факторы риска развития: ожирение и избыточная масса тела отмечены в совокупности у 76% пациентов; 56,9% гиперхолестеринемия. Причем у женщин гиперхолестеринемия встречалась чаще в самом активном трудоспособном и репродуктивном возрасте (18-40) лет.

Полученные результаты говорят об обратной взаимосвязи между высокой информированностью пациентов о факторах риска развития кардиоваскулярных заболеваний и наличием у них тех же факторов [24].

Результаты проведенного исследования являются основой для повышения информированности той малой части пациентов с факторами риска развития кардиоваскулярных заболеваний на догоспитальном этапе в рамках первичной медико-санитарной помощи. Важно, чтобы как можно больше людей знали и осознавали значимость влияния кардиоваскулярных факторов риска на здоровье.

Своевременно начатые профилактические мероприятия помогут получить новые данные о распространенности семейной гиперхолестеринемии, что позволит снизить сердечно-сосудистую заболеваемость и смертность. Особое внимание следует уделять в обучающих программах рациональному питанию и повышению двигательной активности, а также проведение адресных занятий с психологами по проблемам стресса, отказа от курения и алкоголя. В этом и заключается теоретическая значимость работы.

Практическая значимость исследования заключается в раннем выявлении кардиоваскулярных факторов риска, что позволит минимизировать их осложнения у лиц трудоспособного возраста.

Заключение

На фоне применения государственных мер по борьбе с сердечно-сосудистыми заболеваниями остается высокий уровень заболеваемости. Именно профилактические мероприятия, осуществляемые в рамках популяционной и стратегии высокого риска, зарекомендовали себя не только как наиболее действенный метод повышения уровня информированности у населения, но и эффективный метод борьбы с неинфекционными заболеваниями в целом.

Активная информационная кампания о пропаганде здорового образа жизни, повышение уровня медицинской информированности населения и формирование у граждан ответственного отношения к своему здоровью, а также открытие Центров здоровья, кабинетов профилактики, Школ Здоровья начали позитивно сказываться на формировании самосохранительного поведения населения. Обе стратегии профилактики не противоречат друг другу, поэтому их совместное применение допустимо.

Список литературы

1. Ахминеева А.Х., Полунина О.С., Воронина Л.П., Севостьянова И.В. Функциональные, генетические и биохимические маркеры состояния сосудистого эндотелия при гипертонической болезни // Астраханский медицинский журнал. 2013. Т. 8. №3. С. 40-43.
2. Бойцов С.А., Драпкина О.М., Шляхто Е.В. и др. Исследование ЭССЕ РФ (Эпидемиология сердечно-сосудистых заболеваний и их факторов риска в регионах Российской Федерации). Десять лет спустя // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2021. №20(5). С. 143-152.
3. Кобякова О.С., Куликов Е.С., Малых Р.Д., Черногорюк Г.Э., Деев И.А., Старовойтова Е.А., Кириллова Н.А., Загрямова Т.А., Балаганская М.А. Стратегии профилактики хронических неинфекционных заболеваний: современный взгляд на проблему // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2019. № 18(4). С. 92-98.
4. Кухарчук В.В., Ежов М.В., Сергиенко И.В., Арабидзе Г.Г., Бубнова М.Г., Балахонова Т.В., Гуревич В.С. и др. //Диагностика и коррекция нарушений липидного обмена с целью профилактики и лечения атеросклероза. Российские рекомендации, VII пересмотр // Атеросклероз и дислипидемии. 2020. № 1 (38). С. 7-40.
5. Ложатникова Ю.В., Алехина О.Д., Бурлачук В.Т., Трибунцева Л.В. Некоторые аспекты эффективности профилактики сердечно-сосудистых заболеваний врачом общей практики в рамках всеобщей диспансеризации // Молодой ученый. 2016. № 27 (131). С. 255-258. URL: <https://moluch.ru/archive/131/36391/> (дата обращения: 18.02.2023).
6. Министерство здравоохранения РФ. Клинические рекомендации. Артериальная гипертензия у взрослых. 2020. https://scardio.ru/content/Guidelines/Clinic_rek_AG_2020.pdf (дата обращения: 15.02.2023).
7. Модестов А.А., Косова С.А., Федоткина С.А. Оценка региональных программ медицинской профилактики через призму показателей здоровья детской популяции // Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина. 2013. №3. С. 194-204.

8. Национальные рекомендации по определению риска и профилактике внезапной сердечной смерти / Шляхто Е.В., Арутюнов Г.П., Беленков Ю.Н., Бойцов С.А., Ардашев А.В., Абдуллаев А.А., Аверьянов А.В., и др. Москва, 2018. 247 с.
9. «Об организации кабинетов профилактики артериальной гипертензии». Распоряжение Комитета по здравоохранению Правительства Санкт-Петербурга от 01.06.2005 N 199-р. <https://docs.cntd.ru/document/8413774> (дата обращения: 25.02.2023).
10. «Об утверждении порядка организации и осуществления профилактики неинфекционных заболеваний и мероприятий по формированию здорового образа жизни в медицинских организациях». Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 29.10.2020 N 1177н. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_369897/ (дата обращения: 01.03.2023).
11. «Об утверждении Порядка проведения профилактического медицинского осмотра и диспансеризации определенных групп взрослого населения». Приказ Минздрава России от 27.04.2021 N 404н (ред. от 01.02.2022). https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_388771/ (дата обращения: 15.03.2023).
12. «Об утверждении Региональной программы Санкт-Петербурга «Борьба с сердечно-сосудистыми заболеваниями» на 2019-2024 годы» (ред. от 30.12.2022). Распоряжение Правительства Санкт-Петербурга от 28.06.2019 N 20-рп. <https://docs.cntd.ru/document/560524460> (дата обращения: 01.02.2023).
13. Парижская Е.Н., Ротарь О.П., Орлов А.В., Бояринова М.А., Алиева А.С., Колесова Е.П., Могучая Е.В., Паскарь Н.А., Баранова Е.И., Недошивин А.О., Конради А.О. Мнение населения о важности факторов риска, влияющих на развитие сердечно-сосудистых заболеваний (на примере популяционной выборки жителей Санкт-Петербурга в рамках ЭССЕ-РФ) // Трансляционная медицина. 2017. №4 (6). С. 43–52.
14. Погосова Н. В., Лысенко М. А., Самсонова И. В., Карпова А. В., Юферева Ю. М., Исакова С. С., Выгодин В. А., Василевский А. С. Медицинская информированность о факторах риска развития сердечно-сосудистых заболеваний пациентов различного терапевтического профиля, находящихся на стационарном лечении // Кардиология. 2017. Т. 57(12). С. 34-42.
15. Погосова Г.В., Фишман Б.Б., Мелик-Оганджян Г.Ю., Беспалов Е.И., Куликова Т.В. Релиф-регулярное лечение и профилактика – ключ к улучшению ситуации с сердечно-сосудистыми заболеваниями в России: результаты российского многоцентрового исследования (обзор исследования) // Клиническая медицина / Вопросы клиники, диагностики, профилактики и лечения. Межвузовский сборник стран СНГ. Великий Новгород-Алматы, 2009. Т. 17. С. 198–215.

16. Кардиоваскулярная профилактика 2017. Российские национальные рекомендации // Российский кардиологический журнал. 2018. № 6. С. 7-122. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2018-6-7-122>
17. Русев И.Т., Карайланов М.Г., Прокин И.Г., Кузьмин С.Г. Организация оказания первичной медико-санитарной помощи в амбулаторных условиях на примере мегаполиса. // Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2016. № 3 (55). С. 144-147.
18. Самородская И.В., Ватолина М.А., Бойцов С.А. Методические вопросы и результаты оценки глобального бремени болезней (обзор литературы) // Профилактическая медицина. 2015. Т. 18 (1). С. 40-45.
19. Сахарова Г.М., Антонов Н.С., Салагай О.О. Глобальное обследование взрослого населения по потреблению табака в Российской Федерации: GATS 2009 и GATS 2016 // Наркология. 2017. Т. 16, №7 (187). С. 8-12.
20. Скрининг и профилактика актуальных заболеваний. Руководство для врачей / Стрельников А.А., Обрезан А.Г., Шайдаков Е.В. Санкт-Петербург, 2012. 535 с.
21. Указ Президента РФ от 07.05.2018 N 204 (ред. от 21.07.2020) «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». <https://base.garant.ru/71937200/> (дата обращения: 05.03.2023)
22. Управление Федеральной службы государственной статистики по г. Санкт-Петербургу и Ленинградской области. <https://78.rosstat.gov.ru> (дата обращения: 18.02.2023)
23. Федоткина С.А., Гридин М.Ю., Хугаева Э.В. Анализ формирования понятия здорового образа жизни среди учащейся молодежи и мотивации к нему в контексте предстоящей профессиональной деятельности // В мире научных открытий. 2018. № 3 (10). С.162-179. <https://doi.org/10.12731/wsd-2018-3-162-179>
24. Федоткина С.А., Хугаева Э.В. Анализ факторов риска развития сердечно-сосудистых заболеваний у людей трудоспособного возраста // Социальные аспекты общественного здравоохранения. 2022. № 6(68). С. 187-189.
25. Федоткина С.А., Хугаева Э.В. К вопросу о применении и популяционной стратегии для лиц трудоспособного возраста в рамках первичной медико-санитарной помощи // Современные научные и образовательные стратегии в общественном здоровье. Российская научно-практическая конференция. 2018. С. 202-207.
26. Федоткина С.А. Комплексное социально-гигиеническое исследование самосохранительного поведения и здоровья молодежи России: дис. д-ра мед. наук. Москва. 2014. 292 с.

27. Федоткина С.А. Смертность молодёжи в контексте её самосохранительного поведения. LAP LAMBERT, 2012. 106 с.
28. Шляхто Е.В., Звартау Н.Е., Виллевалде С.В., Яковлев А.Н., Соловьева А.Е., Алиева А.С. и др. Система управления сердечно-сосудистым риском: предпосылки для создания, принципы организации, целевые группы. // Российский кардиологический журнал. 2019. № 24 (11). С. 69-82.
29. Эмберсон Д., Уинкан П., Моррис Р. [и др.] Роль популяционной стратегии и стратегии высокого риска в первичной профилактике сердечно-сосудистых заболеваний // ПМЖ. 2008. Т. 16, № 20. С. 1320-1327.
30. Yusuf S., Hawken S., Ounpuu S. et al. Effect of potentially modifiable risk factors associated with myocardial infarction in 52 countries (the INTERHEART study): case-control study // Lancet. 2004. Vol. 364. № 9438. P. 937-952. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(04\)17018-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(04)17018-9)
31. WHO, Global strategy for the prevention and control of noncommunicable diseases, 2000. http://apps.who.int/gb/archive/pdf_files/WHA53/ea14.pdf (дата обращения: 02.02.2023).

References

1. Akhmineeva A.Kh., Polunina O.S., Voronina L.P., Sevost'yanova I.V. *Astrakhanskiy meditsinskiy zhurnal*, 2013, vol. 8, no. 3, pp. 40-43.
2. Boytsov S.A., Drapkina O.M., Shlyakhto E.V. et al. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika*, 2021, no. 20(5), pp. 143-152.
3. Kobyakova O.S., Kulikov E.S., Malykh R.D., Chernogoryuk G.E., Deev I.A., Starovoytova E.A., Kirillova N.A., Zagromova T.A., Balaganskaya M.A. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika*, 2019, no. 18(4), pp. 92-98.
4. Kukharchuk V.V., Ezhov M.V., Sergienko I.V., Arabidze G.G., Bubnova M.G., Balakhonova T.V., Gurevich V.S. et al. *Ateroskleroz i dislipidemii*, 2020, no. 1 (38), pp. 7-40.
5. Lozhatnikova Yu. V., Alekhina O.D., Burlachuk V.T., Tribuntseva L.V. *Molodoy ucheny*, 2016, no. 27 (131), pp. 255-258. <https://moluch.ru/archive/131/36391/>
6. Ministry of Health of the Russian Federation. Clinical guidelines. Arterial hypertension in adults. 2020. https://scardio.ru/content/Guidelines/Clinic_rek_AG_2020.pdf
7. Modestov A.A., Kosova S.A., Fedotkina S.A. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Meditsina*, 2013, no. 3, pp. 194-204.
8. Shlyakhto E.V., Arutyunov G.P., Belenkov Yu.N., Boytsov S.A., Ardashev A.V., Abdullaev A.A., Aver'yanov A.V., et al. *Natsional'nye rekomendatsii po opredeleniyu riska i profilaktike vnezapnoy serdechnoy smerti* [National recommendations for determining the risk and prevention of sudden cardiac death]. Moscow, 2018, 247 p.

9. “On the organization of cabinets for the prevention of arterial hypertension.” Decree of the Health Committee of the Government of St. Petersburg dated 01.06.2005 N 199-r. <https://docs.cntd.ru/document/8413774>
10. “On approval of the procedure for organizing and implementing the prevention of non-communicable diseases and measures to promote a healthy lifestyle in medical organizations.” Order of the Ministry of Health of the Russian Federation of October 29, 2020 N 1177n. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_369897/
11. “On approval of the procedure for conducting a preventive medical examination and medical examination of certain groups of the adult population.” Order of the Ministry of Health of Russia dated April 27, 2021 N 404n. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_388771/
12. “On Approval of the Regional Program of St. Petersburg “Fight against Cardiovascular Diseases” for 2019-2024” (as amended on 12/30/2022). Order of the Government of St. Petersburg dated June 28, 2019 N 20-rp. <https://docs.cntd.ru/document/560524460>
13. Parizhskaya E.N., Rotar’ O.P., Orlov A.V., Boyarinova M.A., Alieva A.S., Kolesova E.P., Moguchaya E.V., Paskar’ N.A., Baranova E.I., Nedoshivin A.O., Konradi A.O. *Translyatsionnaya meditsina*, 2017, no. 4 (6), pp. 43–52.
14. Pogosova N. V., Lysenko M. A., Samsonova I. V., Karpova A. V., Yufereva Yu. M., Isakova S. S., Vygodin V. A., Vasilevskiy A. S. *Kardiologiya*, 2017, vol. 57(12), pp. 34-42.
15. Pogosova G.V., Fishman B.B., Melik-Ogandzhanyan G.Yu., Bespalov E.I., Kulikova T.V. *Klinicheskaya meditsina / Voprosy kliniki, diagnostiki, profilaktiki i lecheniya. Mezhdvuzovskiy sbornik stran SNG* [Clinical Medicine / Clinical, diagnostic, prevention and treatment issues. Interuniversity collection of CIS countries]. Velikiy Novgorod-Almaty, 2009, vol. 17, pp. 198–215.
16. Kardiovaskulyarnaya profilaktika 2017. Rossiyskie natsional’nye rekomendatsii [Cardiovascular prevention 2017. Russian national guidelines]. *Rossiyskiy kardiologicheskiy zhurnal*, 2018, no. 6, pp. 7-122. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2018-6-7-122>
17. Rusev I.T., Karaylanov M.G., Prokin I.G., Kuz’min S.G. *Vestnik Rossiyskoy Voенno-meditsinskoy akademii*, 2016, no. 3 (55), pp. 144-147.
18. Samorodskaya I.V., Vatolina M.A., Boytsov S.A. *Profilakticheskaya meditsina*, 2015, vol. 18 (1), pp. 40-45.
19. Sakharova G.M., Antonov N.S., Salagay O.O. *Narkologiya*, 2017, vol. 16, no. 7 (187), pp. 8-12.
20. Strel’nikov A.A., Obrezan A.G., Shaydakov E.V. *Skrining i profilaktika aktual’nykh zabolevaniy. Rukovodstvo dlya vrachey* [Screening and prevention of topical diseases. A guide for doctors]. St. Petersburg, 2012, 535 p.

21. Decree of the President of the Russian Federation of 07.05.2018 N 204 (as amended on 07.21.2020) "On the national goals and strategic objectives of the development of the Russian Federation for the period up to 2024". <https://base.garant.ru/71937200/>
22. Office of the Federal State Statistics Service for St. Petersburg and the Leningrad Region. <https://78.rosstat.gov.ru>
23. Fedotkina S.A., Gridin M.Yu., Khugaeva E.V. *V mire nauchnykh otkrytiy*, 2018, no. 3 (10), pp. 162-179. <https://doi.org/10.12731/wsd-2018-3-162-179>
24. Fedotkina S.A., Khugaeva E.V. *Sotsial'nye aspekty obshchestvennogo zdavookhraneniya*, 2022, no. 6(68), pp. 187-189.
25. Fedotkina S.A., Khugaeva E.V. *Sovremennye nauchnye i obrazovatel'nye strategii v obshchestvennom zdorov'e. Rossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [Modern scientific and educational strategies in public health. Russian scientific and practical conference], 2018, pp. 202-207.
26. Fedotkina S.A. *Kompleksnoe sotsial'no-gigienicheskoe issledovanie samosokhranitel'nogo povedeniya i zdorov'ya molodezhi Rossii* [Comprehensive socio-hygienic study of self-preserving behavior and health of young people in Russia]. Moscow, 2014, 292 p.
27. Fedotkina S.A. *Smertnost' molodezhi v kontekste ee samosokhranitel'nogo povedeniya* [Mortality of youth in the context of its self-preservation behavior]. LAP LAMBERT, 2012, 106 p.
28. Shlyakhto E.V., Zvartau N.E., Villeval'de S.V., Yakovlev A.N., Solov'eva A.E., Alieva A.S. et al. *Rossiyskiy kardiologicheskii zhurnal*, 2019, no. 24 (11), pp. 69-82.
29. Emberson D., Uinkan P., Morris R. et al. *RMZh*, 2008, vol. 16, no. 20, pp. 1320-1327.
30. Yusuf S., Hawken S., Ounpuu S. et al. Effect of potentially modifiable risk factors associated with myocardial infarction in 52 countries (the INTERHEART study): case-control study. *Lancet*, 2004, vol. 364, no. 9438, pp. 937-952. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(04\)17018-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(04)17018-9)
31. WHO, Global strategy for the prevention and control of noncommunicable diseases, 2000. http://apps.who.int/gb/archive/pdf_files/WHA53/ea14.pdf

ДААННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Федоткина Светлана Александровна, доктор медицинских наук, доцент, доцент кафедры организации здравоохранения и общественного здоровья *Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова; Федеральное государственное образова-*

*тельное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», Медицинский колледж
ул. Академика Лебедева, 6, г. Санкт-Петербург, 194044, Российская Федерация; линия Менделеевская, 5, г. Санкт-Петербург, 199034, Российская Федерация
safedotkina@mail.ru*

Хугаева Эльза Валерьевна, преподаватель кафедры организации здравоохранения и общественного здоровья
*Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова
ул. Академика Лебедева, 6, г. Санкт-Петербург, 194044, Российская Федерация hugaeva_elza@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Svetlana A. Fedotkina, Doctor of Medical Sciences; Associate Professor of the Department of Health Organization and Public Health
*Military Medical Academy named after S. M. Kirov; Saint-Petersburg State University
6, Lebedev Str., St.-Petersburg, 194044, Russian Federation; 5, Mendeleevskaya Line, Saint-Petersburg, 199034, Russian Federation
safedotkina@mail.ru
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3077-443X>
SPIN-code: 1867-5544
ResearcherID: N2513-2013*

Elsa V. Khugaeva, Lecturer of the Department of Health Organization and Public Health
*Military Medical Academy named after S. M. Kirov
6, Lebedev Str., St.-Petersburg, 194044, Russian Federation
hugaeva_elza@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5816-2510>
SPIN-code: 2728-1193
ResearcherID: HPG-6774-2023*

Поступила 25.01.2023

После рецензирования 07.02.2023

Принята 21.02.2023

Received 25.01.2023

Revised 07.02.2023

Accepted 21.02.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-195-220

УДК 614.2



Научная статья | Здоровоохранение

ГЕНДЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ И ЛИЧНОСТНОЙ ТРЕВОЖНОСТИ СПОРТСМЕНОВ-ПОДРОСТКОВ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЗАНЯТИЙ В ШКОЛЕ ЗДОРОВЬЯ)

И.Ю. Худогозов, М.В. Певнева, К.Н. Ляшенко

Актуальность. Настоящая работа посвящена социальной диагностике и социальной профилактике возможных побочных негативных явлений медицинского, социального и психологического плана, возникающих на фоне основного тренировочного и образовательного процессов спортсменов пубертатного возраста с учетом их пола.

Цель: оценить гендерные особенности динамики качества жизни (КЖ) и личностной тревожности (ЛТ) старшеклассников Государственного бюджетного учреждения Ростовской области «Спортивная школа олимпийского резерва №35 им. братьев Самургаишевых» (ГБУ РО «СШОР № 35») на фоне занятий в школе здоровья.

Методы: исторический, педагогический, социально-психологический, социальной профилактики, социологический, статистический и графический методы, а также метод контент-анализа.

Результаты: после занятий в школе здоровья (ШЗ) ЛТ снизилась в целом по выборке более, чем на 40%. Снижение ЛТ сопровождалось повышением КЖ почти на 15%. Главными приоритетами ЛТ для девушек-спортсменок оказались признаки: «Вам грозит неуспех, провал»; «Видеть плохие или «вещи» сны»; «У Вас что-то не получается». Среди спортсменов-юношей исходный уровень ЛТ был ниже, чем у девушек на 40%. Приоритетами мужской тревожности стали такие признаки, как: «Вам грозит неуспех, провал»; «На Вас не обращают внимания»; «Не можете справиться с домашним заданием». После занятий в ШЗ девушки наиболее быстро ликвидировали ЛТ по таким направлениям как «Ждете родителей после их личной беседы с директором школы» и «Видеть плохие или «вещи» сны», а юноши – «Не понимаете объяснений учителя», «(Они) Замолчали, когда Вы подошли», «У

Вас что-то не получается». Исходный уровень КЖ спортсменок-девушек был значимо ниже на 8,7%, чем у спортсменов-юношей, а после занятий в ШЗ превысил соответствующий показатель в группе спортсменов-юношей на 4,7%. Юноши-спортсмены отмечали после занятий в ШЗ улучшение отношений в процессе учебы (со сверстниками, начальством и др.), однако в количественном выражении это улучшение было в 9 раз ниже, чем в группе спортсменок-девушек.

Заключение. *Полученные результаты могут быть широко распространены в аналогичных спортивных школах для обеспечения мониторинга и приведения к возрастным нормам уровня личностной тревожности и качества жизни обучающихся.*

Ключевые слова: *спортсмены-подростки; школа здоровья; информационно-когнитивные воздействия; социально-психологическая эффективность; личностная тревожность; качество жизни*

Для цитирования. *Худоногов И.Ю., Певнева М.В., Ляшенко К.Н. Гендерные особенности динамики качества жизни и личностной тревожности спортсменов-подростков (по результатам занятий в школе здоровья) // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №2. С. 194-220. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-194-220*

Original article | Health Care

GENDER FEATURES OF THE TEENAGE ATHLETES' LIFE QUALITY AND PERSONAL ANXIETY DYNAMICS (BY THE HEALTH SCHOOL LESSONS RESULTS)

I.Yu. Khudonogov, M.V. Pevneva, K.N. Lyashenko

Relevance. *This work is devoted to social diagnostics and social prevention of possible negative side effects of medical, social and psychological plan that occur against the background of the main training and educational processes of pubertal athletes, taking into account their gender.*

Purpose: *to assess the gender characteristics of the life quality and personal anxiety (PA) dynamics of the Brothers Samurgashevs' Rostov Region Olympic Reserve Sports School No. 35 high school students against the background of classes at the health school (HS).*

Methods: historical, pedagogical, socio-psychological, social prevention, sociological, statistical and graphic methods, as well as the method of content analysis.

Results: after the HS classes PA decreased more than 40% overall for the sample. The decrease in PA was accompanied by an increase in QoL by almost 15%. The main PA priorities for female athletes turned out to be the following signs: “You are in danger of failure, bad luck”; “To see bad or “prophetic” dreams”; “Something is not working out for you”. Among male athletes, the initial level of PA was lower than that of female by 40.1%. The priorities of male anxiety were such signs as: “You are in danger of failure, bad luck”; “They don’t pay attention to you”; “You can’t do your homework”. After HS classes, girls most quickly eliminated PA in such areas as “Waiting for parents after their personal conversation with the school principal” and “Seeing bad or “prophetic” dreams”, and boys - “You don’t understand the teacher’s explanations”, “(They) fell silent when you approached”, “Something is not working out for you”. The initial level of QoL of young female athletes was significantly lower by 8.7% than that of young male athletes, and after training at the HS, it exceeded the corresponding indicator in the group of young male athletes by 4.7%. After classes at the HS, young male athletes noted an improvement in relations during their studies (with peers, superiors, etc.), however, in quantitative terms, this improvement was 9 times lower than in the group of young female athletes. Also, young male athletes noted an improvement in their physical condition and strengthening of skills and abilities in organizing their time, but 5 and 4 times (respectively) less pronounced than in the group of young female athletes.

Conclusion. The results obtained can be widely disseminated in similar sports schools to ensure monitoring and bringing the level of personal anxiety and quality of life of students to age norms.

Keywords: teenage athletes; health school; information and cognitive impacts; socio-psychological effectiveness; personal anxiety; the quality of life

For citation. Khudonogov I.Yu., Pevneva M.V., Lyashenko K.N. Gender Features of the Teenage Athletes’ Life Quality and Personal Anxiety Dynamics (by the Health School Lessons Results). *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 194-220. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-194-220

Традиционный научный взгляд на спортсменов обычно ограничивался исследованиями биологических объектов, т.е. включал вещества, дозы, нагрузки, морфофункциональные реакции и т.п. При этом становление спортсмена как личности, изучение его тревожности и качества жизни выполнялись значительно реже. Сегодня ситуация кардинально меняется. Глобальная трансформация социально-экономического базиса начинает-

ся с надстройки – с информационно-когнитивной сущности человека, его мыслей и чувств [1], которые приходят на замену золоту, углю, нефти и прочим материальным ценностям. Обстоятельства непреодолимой силы повсеместно продвигают постиндустриальный технологический уклад экономики (ПТУЭ), который стремительно меняет облик нашей планеты – углеродный энергетический ресурс постепенно вытесняется интеллектуальным, все видимые и невидимые преобразования осуществляются благодаря исключительно информационно-когнитивным воздействиям (ИКВ). Российская Федерация в указанном контексте является безусловным лидером, однако переход в новый ПТУЭ сопровождается появлением новых проблем, связанных с тем, что столь активное проникновение в информационно-когнитивную сферу и превращение её в действенный инструмент изменения физической реальности ранее в таких масштабах не осуществлялись, тем более не анализировались. Практически отсутствуют сведения о возможных реакциях различных групп населения на одно и то же содержание используемого информационного контента, о возможных социально-психологических и иных эффектах ИКВ.

Спорт в указанном контексте всегда являлся особенной информационно-когнитивной матрицей, на которой формировались герои, т.е. люди способные на подвиг, самопожертвование ради победы. Однако будущим победителям достаточно тяжело совмещать спорт и учебу, преодолевать все трудности тренировочного процесса, особенно в пубертатном периоде, характеризующемся гормональными штормами и психологической неустойчивостью. Значительная часть спортсменов-подростков расстается со спортом в силу субъективных причин, связанных с недостаточной осведомленностью тренерского состава об имеющихся проблемах индивидуально-личностного характера и способах их коррекции.

А между тем ни для кого не является секретом, что параметры физического здоровья тесно связаны с многочисленными когнитивными функциями человека. Так, например, память на образы, концентрация внимания, запоминание стихотворений и чисел, иные коммуникативные компоненты личности часто характеризуют определенную клиническую картину – напрямую входят в симптоматику многих заболеваний. Исследования, в ходе которых физическое здоровье (ФЗ) как элемент КЖ сопоставлялось с когнитивными расстройствами, подтверждают существование параллелизма и позволяют предположить наличие двухсторонней связи, при которой результативные признаки могут меняться местами с факторными. Ещё древние латиняне подметили, что «*Mens sana in corpore sano*», т.е. физическая и ин-

формационно-энергетическая сущности человека неразделимы и составляют нечто целое. При этом обычно акцент почему-то делается на физическую составляющую, которая обеспечивает мышечные усилия и каким-то волшебным образом порождает крепкий дух. Во многом это подтверждается, если обратиться к опыту применения когнитивных гимнастик (КГ), которые представляют собой комплексы физических упражнений, развивающих координацию движений, растягивающих мышцы, повышающих их кровоснабжение, релаксирующих мышечные массивы и заканчивающиеся разнообразной рефлексотерапией. Выполнение КГ позволяет укрепить связь между опорно-двигательным аппаратом, зрением, слухом и ориентацией в пространстве, времени и себе. Более того, у пациентов улучшается кратковременная память, произвольное внимание, уменьшаются головокружения, проходят головные боли, улучшается сон. Если упоминать о высших психических функциях, то их реализация сопровождается снижением тревожности, уменьшением фрустрации, позитивной динамикой КЖ [2]. В реабилитологической практике существует также специальная методика, которой присвоили в качестве названия термин «нейробика», скомбинированный из двух понятий «нейро-» и «робика» (работа нейронов, или работа с нейронами) [3], появившийся по аналогии с термином «аэробика» (работа воздуха, или работа с воздухом). Применение указанной методики обеспечивает значимый клинический эффект, проявляющийся при формировании новых нейрональных связей (новых стереотипов поведения). Оздоровление организма происходит за счет интенсификации нестандартной предметной деятельности. Так, например, правши начинают включать в работу левую руку, как основную, а левши – правую. Развитие новых навыков сопровождается получением новых ощущений. Иногда для получения клинического эффекта достаточно поменять мебель в доме или на работе, сменить имидж, отказаться от любимых блюд, привычного маршрута, предпочитаемых запахов и т.д. В дополнение к физическим упражнениям, или трансформации пространства практическая медицина применяет такой способ оздоровления как генерирование новых идей, нестандартных ответов на стандартные вопросы («Что нового?», или «Как дела?»). Во вне медицинском социальном пространстве при стабильной экономической обстановке новые связи между нейронами формируются наиболее интенсивно в процессе обучения. Рост образовательного уровня популяции значительно повышает продолжительность и качество жизни людей, снижает заболеваемость. Любые новые понятия (отдельно взятый новый информационный контент) также способны снизить уровень текущей (накопленной) заболеваемости,

даже, если эти понятия не опираются на конкретную предметную основу [4]. При нарастании неопределенности и турбулентности, при вхождении общества в социально-экономический кризис, духовная атмосфера (ДА), как реальное состояние сознания людей, включающее ценности и смыслы (общие цели, конкретные формы отношений между людьми), оценочные представления о норме и ненормальном поведении личности, социальной группы или общества в целом, начинает приобретать для здоровья популяции определяющее значение [5]. При этом необходимо уточнить, что решающее значение для здоровья имеет не столько сама ДА (её структура, свойства, особенности...), сколько её резкие изменения, которые затрагивают все её информационно-когнитивные компоненты [6] (и в первую очередь ценности и смыслы), базирующиеся на нейрональных связях. Переход большей части цивилизованного человечества в новый ПТУЭ, характеризующийся наступлением тотального кризиса во всех сферах человеческого бытия, вызван не только базовыми экономическими процессами (заменой основного углеродного энергетического ресурса на интеллектуальный), но, что более важно, резким изменением направленности ИКВ на различные группы населения, ростом управленческой эффективности этих ИКВ. При этом необходимо уточнить, что ИКВ не являются в прямом смысле слова приказами, наставлениями, мотиваторами или стимулами для конкретных действий, но могут внести значительные коррективы в мировоззрение человека, его систему ценностей, жизненных смыслов и здоровье. Особенный интерес вызывает массовый переход от прямых рефлекторных стимулов, которые так настойчиво отстаивают бихейвиористы [7] – последователи И.П. Павлова [8], к так называемым «soft skills» [9] – надпрофессиональным навыкам, помогающим работать и решать жизненные задачи в условиях информационно-когнитивного обмена с другими людьми без какого-либо принуждения или насилия, что особенно актуально в спорте, где опора на хорошую физическую подготовку и безупречное биологическое здоровье как правило не гарантирует достижение желаемого результата. Спортсмен-победитель сегодня – это носитель мощного интеллектуального потенциала, адекватной мотивационной матрицы [10], гармоничной системы ценностей и смыслов жизни, опирающийся на прочную морально-нравственную духовную основу. Причиной большинства неудач в спорте является отсутствие указанного информационно-когнитивного основания (ИКО), а первые признаки размывания или расшатывания ИКО связаны с нарастанием личностной тревожности (ЛТ). Кроме того, по данным ряда авторов ЛТ также напрямую коррелирует и со здоровьем человека, т.е. воз-

растает, например, среди спортсменов-параолимпийцев, осознающих меру ограничения собственного здоровья, по сравнению с контрольной группой спортсменов, не имеющих ограничений физического здоровья [11] и соответствующих мыслей об этом. Но и они часто испытывают ЛТ, связанную с тем, что в теории и практике спортивной тренировки до сих пор наиболее острой проблемой является противоречие, суть которой сводится к тому, что с одной стороны тренерский состав должен обеспечивать укрепление состояния здоровья, развитие уровня двигательных способностей, физических качеств у спортсменов, включая подростков 12-14 лет [12], а с другой стороны, подготовка спортивного резерва во всех возрастных группах сопряжена с целенаправленным увеличением объема и интенсивности физической нагрузки, которые являются единственным легальным способом развития специальной выносливости, но значительно повышают риски медицинских и психологических осложнений. В качестве минимизации рисков (МР) нами предложено и апробировано на практике ИКВ (занятия в ШЗ), которое проводилось в виде эксперимента и было интегрировано в осенне-зимний этап спортивной и общеобразовательной подготовки в годовом цикле тренировок. Гипотетически МР должна была не только оказать положительное воздействие на физическое здоровье (ФЗ), но проявить себя в изменении КЖ спортсмена, которое формально является психологическим понятием, но фактически включает в себя как обязательный компонент и ФЗ. При этом исходные данные некоторых авторов свидетельствуют о том, что КЖ рандомизированной выборки неспортсменов всегда оказывается значимо выше, чем КЖ соответствующей выборки юношей и девушек спортсменов [13], ежедневно испытывающих тренировочные или соревновательные физические и психологические нагрузки, т.е. объективно обладающих более крепким ФЗ. Указанные противоречия различных элементов КЖ и ЛТ в условиях наступления ПТУЭ вызывают повышение интереса к ИКВ и ответной реакции на них, а соответствующая коррекция ЛТ и КЖ в ходе тренировочного процесса может рассматриваться как перспективный информационно-когнитивный инструмент повышения результативности спортсменов. Пока же новая реальность ПТУЭ только вступает в силу целесообразно определить потенциальные возможности и особенности ИКВ (занятий в ШЗ) на ЛТ и КЖ в группах спортсменов-юношей и спортсменов-девушек. До настоящего времени прикладные аспекты работы ШЗ в спортивной среде остаются практически не изученными и соответственно не востребованными. Так, по результатам контент-анализа крупнейшего российского информационно-аналитического портала в области науки, тех-

нологии, медицины, спорта и образования «Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU» было установлено, что за период 2018-2022 гг. зарегистрировано лишь 9593 научных работы, посвященных спортивной проблематике, и только в 51 из них упоминается слово «здоровье» (менее 0,6%). В контексте ШЗ не нашлось ни одной работы. Иными словами, коррекция ЛТ и КЖ может рассматриваться как эффективный информационно-когнитивный инструмент гармонизации юношеского спорта в новой реальности ПТУЭ, потенциальные возможности и особенности воздействия которого до сих пор остаются вне пристального внимания современной науки. С учетом указанных выше обстоятельств была определена **цель** нашей работы: оценить гендерные особенности динамики КЖ и ЛТ старшеклассников ГБУ РО «СШОР № 35» на фоне занятий в школе здоровья.

Для достижения заявленной цели потребовалось решение следующих **задач**:

1. Разработать дидактический материал для проведения 10 занятий по анатомии, физиологии и особенностям управления основными органами и системами человеческого организма;
2. Сформировать репрезентативную группу слушателей ШЗ; провести занятия ШЗ в течение учебного года;
3. Выполнить социологический контроль динамики показателей ЛТ и КЖ.

Методы

Исследования проводились в течение 2020-2021 учебного года в ГБУ РО «СШОР № 35» и включали в себя 10 дидактических единиц (10 занятий, посвященных изучению основных органов и систем человеческого организма, их структуры, функционирования и особенностей управления). Занятия проводились еженедельно. Рандомизированная группа наблюдения была сформирована из представителей различных видов спорта (спортивная борьба (вольная борьба, греко-римская борьба), тяжелая атлетика, художественная гимнастика) после добровольного информированного согласия родителей и включала 38 старшеклассников (18 юношей и 20 девушек в возрасте от 14 до 17 лет). Перед началом учебного года и после окончания занятий в школе здоровья был выполнен социологический контроль ЛТ и КЖ. Эмоциональное состояние подростков (ЛТ) измерялось по методике А.М. Прихожан [14] с использованием 4-х шкал (школьная тревожность, самооценочная тревожность, межличностная тревожность, магическая тревожность) опросника «Формы Б» (для учащихся 13-16 лет) [15]. Социологическая оценка качества жизни (степени удовлетворенности жизнью) производилась по методике Р.С. Элиот, адаптированной Н.Е. Водопьяновой [16].

Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью персонального компьютера, на котором было установлено приложение Excel (пакет программ Microsoft Office 2016). Малое количество единиц наблюдения и частичная асимметрия распределения признаков вызвали необходимость использования непараметрических критериев Манна-Уитни и ранговой суммы Уилкоксона с последующим расчетом их значимости [17]. Наряду с расчетом выборочных значений средних величин были определены медианы и квартили, характеризующие разнообразие признаков. Различия считались статистически достоверными при $p < 0,05$.

Результаты

Хорошо известно, что тревожное расстройство (ТР), доведенное до генерализованного состояния, характеризуется такими симптомами, как беспричинное беспокойство, постоянная усталость, невозможность сконцентрироваться, раздражительность по самому незначительному поводу, мышечное напряжение и нарушение сна [18]. Функционирование вегетативной нервной системы при ТР, сопровождающееся паникой, беспокойством и страхом, характеризуется гормональным штормом, т.е. усилением взаимоисключающих проявлений парасимпатикотонии, к которым можно отнести субъективное ощущение покалывания рук или ног, повышенную потливость, озноб, тошноту, одышку, головокружение, и симпатикотонии, которая проявляет себя нарушением сна, бледностью кожи, напряжённостью мышц, невозможностью оставаться спокойным и неподвижным, сужением периферических сосудов, гипертонией, тахикардией, запорами, расширением зрачков, сухостью всех слизистых. При этом координирующие влияния центральной нервной системы (НС) по большей части отсутствуют, также значительно снижены и когнитивные функции. В соответствии с рабочей гипотезой нашего исследования ЛТ и КЖ являются близкородственными понятиями, характеризующими жизнедеятельность человека как такового несмотря на то, что в пространственном измерении ЛТ – это всегда что-то внутреннее, а КЖ – скорее внешнее. Тем не менее, с формальной точки зрения наличие взаимообусловленности между ЛТ и КЖ не позволяет установить причинно-следственные статусы исследованных признаков, но использование эмпирических клинических наблюдений свидетельствует о том, что добиться повышения КЖ и стабилизации вегетативных функций можно единственным путем, т.е. восстановлением полного контроля центральной НС над нижележащими отделами НС в совокупности с прикрепленными к ним органами. В данном случае мы проа-

нализировали ситуацию клиническую, которая редко наблюдается в жизни подростков-спортсменов, но она должна насторожить тренерский и преподавательский состав, прояснить возможные перспективы легкомысленного отношения к тревожным состояниям и их начальным проявлениям. В нашем исследовании до начала занятий в ШЗ средний по выборке балл ЛТ после перевода в Стен [19] составил 5,5 баллов 10-ступенчатой шкалы, что по рекомендации А.М. Прихожан «соответствует норме». После занятий в ШЗ Стен ЛТ снизился до 4,1 балла, что также соответствует возрастной норме. Для расчета гендерных различий на первом этапе исследования мы перешли к сырым баллам и рассчитали средние арифметические величины, которые позволили ориентировочно определить, что в среднем по выборке снижение ЛТ составило более 40%. Так, несмотря на одинаковое ИКВ, спортсменки-девушки реагировали на занятия в ШЗ относительно равномерным двукратным снижением ЛТ по основным значимым индикаторам за исключением индикатора «Думаете о своей привлекательности для девочек (мальчиков)», по которому было достигнуто пятикратное снижение (рис. 1).

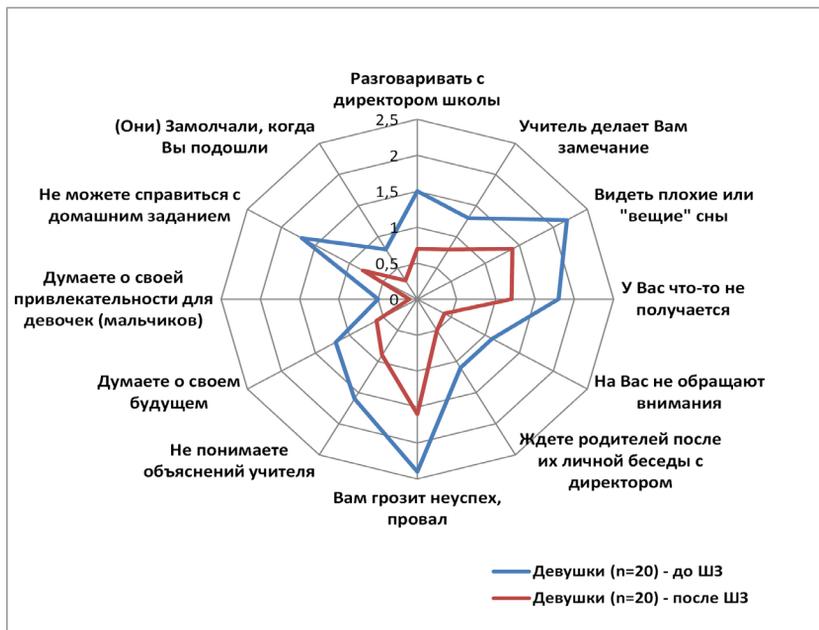


Рис. 1. Отдельные параметры динамики ЛТ спортсменок-девушек на фоне занятий в школе здоровья (в баллах)

Вместе с тем оказалось, что актуальность упомянутого выше индикатора, выраженная в сырых баллах, для девушек-спортсменок минимальна (0,5) по сравнению с главными приоритетами ЛТ – признаками: «Вам грозит неуспех, провал» (2,4); «Видеть плохие или «вещие» сны» (2,2); «У Вас что-то не получается» (1,8), т.е. ничтожна, а после посещения всех занятий ШЗ фактически дезактуализировалась. В данном случае следует отметить «спортивные деформации» мотивационно-ценностной сферы подростков в сторону снижения важности таких традиционных для их сверстников ценностей как «дружба», «семья», «любовь» [20].

На втором этапе исследования были применены непараметрические критерии Уилкоксона (табл. 1, 2) и Манна-Уитни (табл. 3, 4), которые подтвердили и значительно уточнили ориентировочные оценки первого этапа. Так у спортсменов-юношей в категории незначимых оказались индикаторы «Видеть плохие или «вещие» сны», «Ждете родителей после их личной беседы с директором», «Вам грозит неуспех, провал», «Думаете о своем будущем», «Магическая тревожность» (табл. 1).

Таблица 1.

Динамика индикаторов личностной тревожности (А.М. Прихожан, 1983) у спортсменов-юношей на фоне занятий в школе здоровья (ШЗ)

Индикаторы личностной тревожности	До занятий в ШЗ Me [LQ; UQ]*	После занятий в ШЗ Me [LQ; UQ]	Уровень значимости критерия Уилкоксона (p)
Разговаривать с директором (проректором, ректором)	0,00 [0,00; 2,00]	0,00 [0,00; 2,00]	0,0118
Преподаватель делает Вам замечание	1,00 [1,00; 2,00]	1,00 [0,00; 1,00]	0,0000
Видеть плохие или «вещие» сны	0,00 [0,00; 2,00]	0,00 [0,00; 2,00]	0,4992
У Вас что-то не получается	0,50 [0,00; 3,00]	0,00 [0,00; 2,00]	0,0075
Ждете родителей после их личной беседы с директором	0,00 [0,00; 1,00]	0,00 [0,00; 1,00]	0,0953
Вам грозит неуспех, провал	1,50 [1,00; 4,00]	1,00 [0,25; 4,00]	0,7891
Не понимать объяснений преподавателя	0,50 [0,00; 3,00]	0,00 [0,00; 1,00]	0,0075
Думаете о своем будущем	1,00 [0,00; 4,00]	0,00 [0,00; 2,00]	0,4432
Думаете о своей привлекательности для девочек (мальчиков)	0,00 [0,00; 2,00]	0,00 [0,00; 1,00]	0,0000
Не можете справиться с домашним заданием	1,00 [0,00; 4,00]	0,00 [0,00; 2,00]	0,0000
(Они) Замолчали, когда Вы подошли	0,50 [0,00; 3,00]	0,00 [0,00; 1,00]	0,0000
• Учебная тревожность:	5,00 [2,25; 20,00]	2,50 [1,00; 10,00]	0,0024
• Самооценочная тревожность:	5,00 [5,00; 15,00]	5,00 [2,00; 8,00]	0,0000
• Межличностная тревожность:	7,00 [5,00; 26,00]	4,50 [2,00; 8,00]	0,0000
• Магическая тревожность:	3,00 [0,25; 7,00]	1,00 [0,00; 7,00]	0,2980
Всего тревожность	23,00 [13,75; 58,00]	11,50 [7,00; 29,00]	0,0000

* – Me – медиана; LQ – нижний квартиль; UQ – верхний квартиль.

Для девушек-спортсменок незначимыми оказались изменения группового индикатора «Магическая тревожность» (табл. 2).

Таблица 2.

Динамика индикаторов личностной тревожности (А.М. Прихожан, 1983) у спортсменов-девушек на фоне занятий в школе здоровья (ШЗ)

Индикаторы личностной тревожности	До занятий в ШЗ Me [LQ; UQ]*	После занятий в ШЗ Me [LQ; UQ]	Уровень значимости критерия Уилкоксона (p)
Разговаривать с директором (проректором, ректором)	1,00 [1,00; 4,00]	1,00 [0,00; 2,00]	0,0024
Преподаватель делает Вам замечание	1,00 [1,00; 4,00]	1,00 [0,75; 2,00]	0,0078
Видеть плохие или «вещие» сны	3,00 [1,75; 4,00]	1,50 [0,00; 3,00]	0,0118
У Вас что-то не получается	2,00 [1,00; 4,00]	1,00 [1,00; 2,00]	0,0463
Ждете родителей после их личной беседы с директором	1,00 [0,00; 3,00]	0,00 [0,00; 2,00]	0,0479
Вам грозит неуспех, провал	2,00 [2,00; 4,00]	2,00 [1,00; 4,00]	0,0100
Не понимать объяснений преподавателя	1,00 [1,00; 4,00]	1,00 [0,00; 3,00]	0,0463
Думаете о своем будущем	1,00 [0,00; 4,00]	0,00 [0,00; 2,00]	0,0096
Думаете о своей привлекательности для девочек (мальчиков)	0,00 [0,00; 4,00]	0,00 [0,00; 1,00]	0,0037
Не можете справиться с домашним заданием	2,00 [1,00; 4,00]	1,00 [0,00; 3,00]	0,0032
(Они) Замогчали, когда Вы подошли	0,00 [0,00; 3,00]	0,00 [0,00; 3,00]	0,0076
• Учебная тревожность:	10,50 [8,75; 36,00]	7,50 [5,75; 18,00]	0,0046
• Самооценочная тревожность:	9,00 [7,00; 35,00]	7,00 [5,75; 11,00]	0,0037
• Межличностная тревожность:	9,00 [8,00; 27,00]	8,00 [3,75; 16,00]	0,0100
• Магическая тревожность:	8,00 [3,75; 30,00]	5,00 [3,00; 11,00]	0,1498
Всего тревожность	37,0 [32,0; 128,0]	27,0 [22,0; 37,0]	0,0000

* – Me – медиана; LQ – нижний квартиль; UQ – верхний квартиль.

При сравнительном рассмотрении групп, дифференцированных по полу, (табл. 3) было установлено, что у девушек значимые гендерные различия проявились до начала занятий по следующим 11 преобладающим позициям: «Ждёте родителей после их личной беседы с директором», «Не понимать объяснений преподавателя», «Вам грозит неуспех, провал», «Не можете справиться с домашним заданием», «Преподаватель делает Вам замечание», «У Вас что-то не получается» и группам индикаторов – «Межличностная тревожность», «Самооценочная тревожность», «Учебная тревожность», «Магическая тревожность» и «Всего тревожность». Совпал уровень ЛТ у юношей и девушек по таким критериям как «Думаете о сво-

ем будущем», «(Они) Замолчали, когда Вы подошли», «Думаете о своей привлекательности для девочек (мальчиков)», «Разговаривать с директором (проректором, ректором)», «Видеть плохие или «вещие» сны». После посещения ШЗ совпадения сохранились лишь по четырем индикаторам: «Вам грозит неуспех, провал», «Преподаватель делает Вам замечание», «Не можете справиться с домашним заданием», «Думаете о своем будущем» (табл. 4).

Таблица 3.

Уровень значимости различий индикаторов личностной тревожности (А.М. Прихожан, 1983) у спортсменов-подростков до занятий в ШЗ (критерий Манна-Уитни – отсортировано по возрастанию p)

Индикаторы личностной тревожности	Юноши Me [LQ; UQ]*	Девушки Me [LQ; UQ]	Изменение по сравнению с уровнем юношей (баллы)	Уровень значимости критерия Манна-Уитни (p)
Ждете родителей после их личной беседы с директором	0,00 [0,00; 1,00]	1,00 [0,00; 3,00]	1,0	0,0000
• Учебная тревожность:	5,00 [2,25; 20,00]	10,50 [8,75; 36,00]	5,5	0,0001
• Магическая тревожность:	3,00 [0,25; 7,00]	8,00 [3,75; 30,00]	5,0	0,0001
Всего тревожность	23,00 [13,75; 58,00]	37,00 [32,00; 128,00]	14,0	0,0001
Не понимать объяснений преподавателя	0,50 [0,00; 3,00]	1,00 [1,00; 4,00]	0,5	0,0002
• Самооценочная тревожность:	5,00 [5,00; 15,00]	9,00 [7,00; 35,00]	4,0	0,0002
Вам грозит неуспех, провал	1,50 [1,00; 4,00]	2,00 [2,00; 4,00]	0,5	0,0004
• Межличностная тревожность:	7,00 [5,00; 26,00]	9,00 [8,00; 27,00]	2,0	0,0014
Не можете справиться с домашним заданием	1,00 [0,00; 4,00]	2,00 [1,00; 4,00]	1,0	0,0025
Преподаватель делает Вам замечание	1,00 [1,00; 2,00]	1,00 [1,00; 4,00]	0,0	0,0144
У Вас что-то не получается	0,50 [0,00; 3,00]	2,00 [1,00; 4,00]	1,5	0,0180
Думаете о своем будущем	1,00 [0,00; 4,00]	1,00 [0,00; 4,00]	0,0	0,0741
Разговаривать с директором (проректором, ректором)	0,00 [0,00; 2,00]	1,00 [1,00; 4,00]	1,0	0,1834
(Они) Замолчали, когда Вы подошли	0,50 [0,00; 3,00]	0,00 [0,00; 3,00]	-0,5	0,6109
Видеть плохие или «вещие» сны	0,00 [0,00; 2,00]	3,00 [1,75; 4,00]	3,0	0,9080
Думаете о своей привлекательности для девочек (мальчиков)	0,00 [0,00; 2,00]	0,00 [0,00; 4,00]	0,0	1,0000

* – Me – медиана; LQ – нижний квартиль; UQ – верхний квартиль.

Таблица 4.

**Уровень значимости различий индикаторов личностной тревожности
(А.М. Прихожан, 1983) у спортсменов-подростков после занятий в ШЗ
(критерий Манна-Уитни – отсортировано по возрастанию p)**

Индикаторы личностной тревожности	Юноши Me [LQ; UQ]*	Девушки Me [LQ; UQ]	Изменение по сравнению с уровнем юношей (баллы)	Уровень значимости критерия Манна-Уитни (p)
У Вас что-то не получается	0,00 [0,00; 2,00]	1,00 [1,00; 2,00]	1,0	0,0000
Думаете о своей привлекательности для девочек (мальчиков)	0,00 [0,00; 1,00]	0,00 [0,00; 1,00]	0,0	0,0000
(Они) Замолчали, когда Вы подошли	0,00 [0,00; 1,00]	0,00 [0,00; 3,00]	0,0	0,0000
Разговаривать с директором (проректором, ректором)	0,00 [0,00; 2,00]	1,00 [0,00; 2,00]	1,0	0,0001
• Учебная тревожность:	2,50 [1,00; 10,00]	7,50 [5,75; 18,00]	5,0	0,0001
Всего тревожность	11,50 [7,00; 29,00]	27,00 [22,00; 37,00]	15,5	0,0002
Видеть плохие или «вещи» сны	0,00 [0,00; 2,00]	1,50 [0,00; 3,00]	1,5	0,0003
Не понимать объяснений преподавателя	0,00 [0,00; 1,00]	1,00 [0,00; 3,00]	1,0	0,0012
• Самооценочная тревожность:	5,00 [2,00; 8,00]	7,00 [5,75; 11,00]	2,0	0,0037
Ждете родителей после их личной беседы с директором	0,00 [0,00; 1,00]	0,00 [0,00; 2,00]	0,0	0,0124
• Магическая тревожность:	1,00 [0,00; 7,00]	5,00 [3,00; 11,00]	4,0	0,0194
• Межличностная тревожность:	4,50 [2,00; 8,00]	8,00 [3,75; 16,00]	3,5	0,0209
Вам грозит неуспех, провал	1,00 [0,25; 4,00]	2,00 [1,00; 4,00]	1,0	0,0705
Преподаватель делает Вам замечание	1,00 [0,00; 1,00]	1,00 [0,75; 2,00]	0,0	0,4848
Не можете справиться с домашним заданием	0,00 [0,00; 2,00]	1,00 [0,00; 3,00]	1,0	0,4934
Думаете о своем будущем	0,00 [0,00; 2,00]	0,00 [0,00; 2,00]	0,0	0,8820

* – Me - медиана; LQ – нижний квартиль; UQ – верхний квартиль.

В целом по выборке юношей-спортсменов исходный уровень ЛТ оказался почти в два раза ниже, чем соответствующий показатель у девушек-спортсменок. При этом реакция юношей на занятия в ШЗ отличалась значительным разбросом показателей – от полного отсутствия изменений (признак «Ждете родителей после их личной беседы с директором школы»), до трехкратного снижения (признак «На Вас не обращают внима-

ния») (рис. 2). Наиболее актуальными с точки зрения исходного уровня ЛТ оказались такие признаки, как: «Вам грозит неуспех, провал» (1,6); «На Вас не обращают внимания» (1,2); «Не можете справиться с домашним заданием» (1,2).

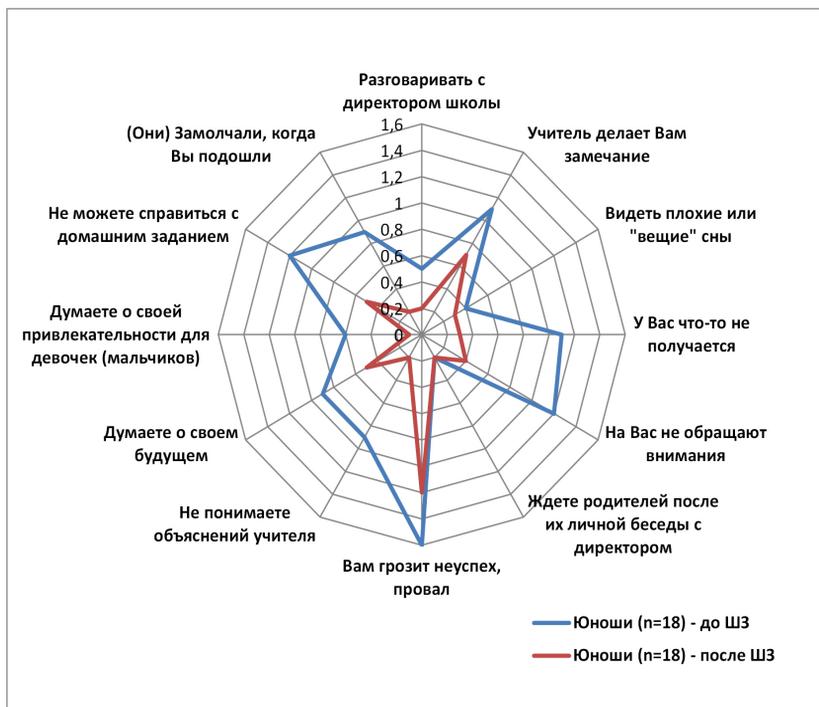


Рис. 2. Отдельные параметры динамики ЛТ спортсменов-юношей на фоне занятий в школе здоровья (в баллах)

При сравнении темпов роста/снижения индикаторов ЛТ в мужской и женской половинах выборки удалось установить, что самым быстрорастущим показателем является индикатор «Думаете о своей привлекательности для девочек (мальчиков)», который и у юношей, и у девушек снизился в ходе занятий ШЗ в 5 раз. Также синхронно, но в 2,6 раза, снизилась актуальность индикатора «На Вас не обращают внимания». Различия обнаружили в том, что юноши наиболее быстро ликвидировали тревожность по таким направлениям, как «Не понимаете объяснений учителя» (4,3 раза), «(Они) Замолчали, когда Вы подошли» (4 раза), «У Вас что-то

не получается» (3,2 раза), в то время как девушки – по таким направлениям как «Ждете родителей после их личной беседы с директором школы» (2,2 раза) и «Видеть плохие или «вещие» сны» (1,7 раза) (рис. 3).

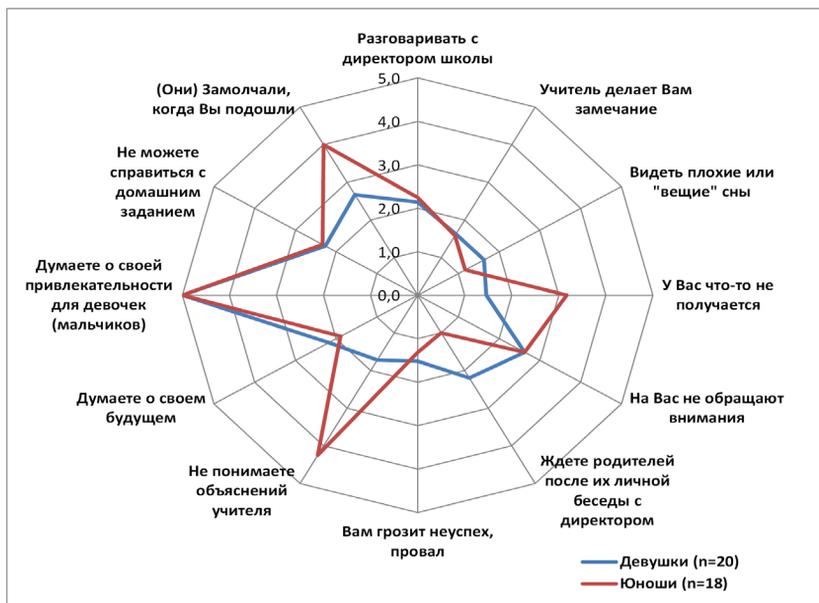


Рис. 3. Гендерные особенности динамики реагирования (темпа роста/снижения) ЛТ спортсменов-подростков на занятия в школе здоровья (количество раз)

Анализ различных типов тревожностей, обусловленных различными элементами информационно-когнитивной среды, позволил установить, что юноши-спортсмены испытывают наибольшие трудности в сфере межличностных взаимодействий (рис. 4).

В то время, как девушки-спортсменки больше всего встревожены проблемами, возникающими в сфере общения с учителями (рис. 5).

Исходный Стен КЖ также составил 5,5 баллов 10-ступенчатой шкалы, что коррелирует с данными Думчене А.Л. и Паужа Г. [21], использовавших для регистрации результатов НВС (Health Behavior Checklist) опросника 5-балльную шкалу Лайкерта и установивших среднегрупповой уровень КЖ и здоровья для спортсменов 3,97 баллов (Стен = 7,94) и 2,39 баллов для неспортсменов (Стен = 4,78), что качественно противоречит данным Давлетова Н.Х. и соавт. [13], но не дает представление о количественной стороне явления.

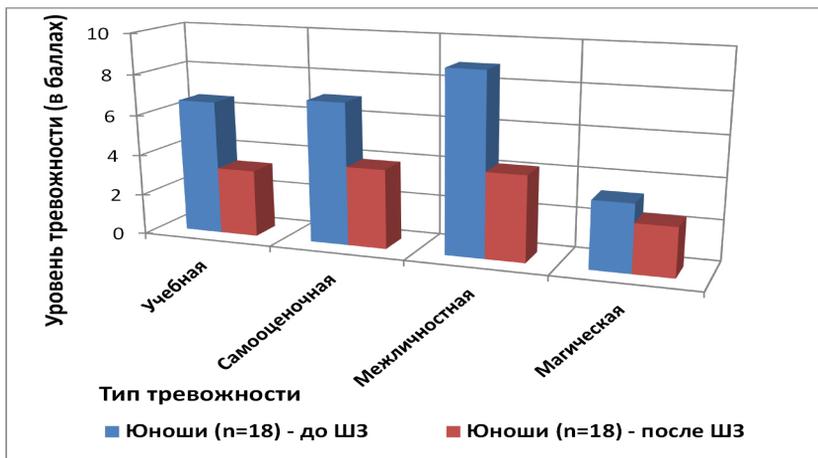


Рис. 4. Динамика уровня различных типов тревожности юношей-спортсменов на фоне занятий в школе здоровья

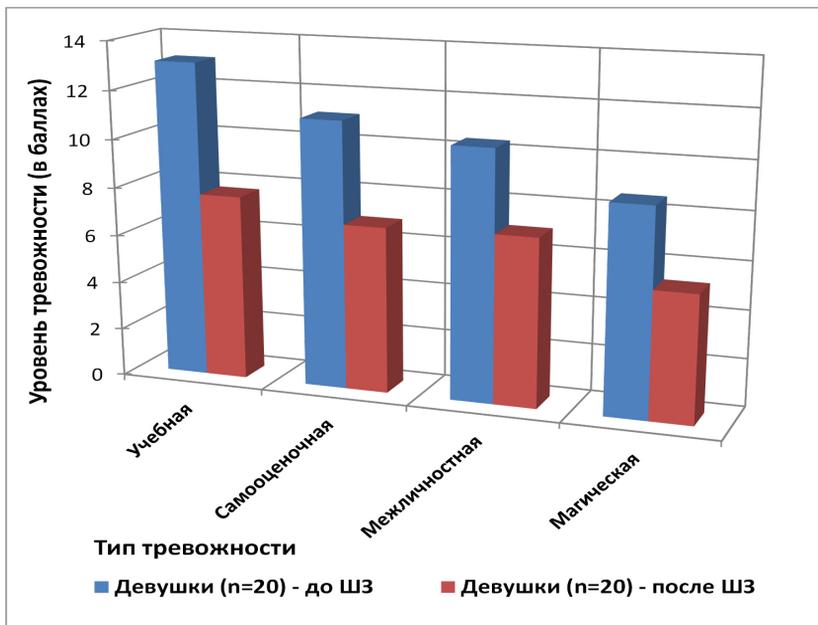


Рис. 5. Динамика уровня различных типов тревожности девушек-спортсменок на фоне занятий в школе здоровья

В отличие от приведенных выше исследований наша работа являлась лонгитюдной и должна была определить динамику показателей КЖ, которая в целом по выборке после всех занятий в ШЗ повысилась почти на 15%. Для расчета значимости полученных данных и выяснения гендерных различий мы также, как и в случае с ЛТ использовали сырые баллы (табл. 5 и 6).

Таблица 5.

**Динамика индикаторов качества жизни юношей-спортсменов
на фоне занятий в ШЗ (в баллах)**

Индикатор	Разность средних арифметических величин (в баллах)	Уровень значимости критерия Уилкоксона (p)
1. Учеба	0,50	>0,05
2. Личные устремления и достижения	0,70	>0,05
3. Здоровье	0,80	<0,05
4. Изменяющиеся обстоятельства	-0,30	>0,05
5. Отношения с детьми (чужими или своими братьями и сестрами)	0,40	>0,05
6. Отношения в процессе учебы (с коллегами, начальством и др.)	0,10	<0,05
7. Отношения с друзьями	0,60	>0,05
8. Духовная или религиозная поддержка	1,40	>0,05
9. Хорошее настроение, как правило, зависит...	-0,10	>0,05
10. Умение организовать свое время	0,40	>0,05
11. Окружающая среда	0,60	>0,05
12. Физическое состояние	0,60	<0,05
Общий балл качества жизни	6,10	<0,01

Так, юноши значительно повысили общий показатель КЖ на 6,1 балла ($p < 0,01$), а также «Здоровье», «Отношения в процессе учебы (с коллегами, начальством и др.)», «Физическое состояние» ($p < 0,05$). Остальные составляющие КЖ не смогли продемонстрировать необходимую величину значимости.

В отличие от юношей девушки-спортсменки отреагировали на занятия в ШЗ (табл. 6) более выражено – повышение общего балла качества жизни составило 18,05 ($p < 0,01$). Также в пределах доверительного интервала оказались все составляющие КЖ кроме позиции «Отношения с детьми (чужими или своими братьями и сестрами)».

Таблица 6.

Динамика индикаторов качества жизни девушек-спортсменок на фоне занятий в ШЗ (в баллах)

Индикатор	Разность средних арифметических величин (в баллах)	Уровень значимости критерия Уилкоксона (p)
1. Учеба	0,85	<0,01
2. Личные устремления и достижения	0,90	<0,01
3. Здоровье	1,35	<0,01
4. Изменяющиеся обстоятельства	1,75	<0,01
5. Отношения с детьми (чужими или своими братьями и сестрами)	1,50	>0,05
6. Отношения в процессе учебы (с коллегами, начальством и др.)	0,95	<0,01
7. Отношения с друзьями	1,00	<0,01
8. Духовная или религиозная поддержка	1,55	<0,01
9. Хорошее настроение, как правило, зависит...	1,95	<0,01
10. Умение организовать свое время	1,95	<0,01
11. Окружающая среда	1,70	<0,01
12. Физическое состояние	2,60	<0,01
Общий балл качества жизни	18,05	<0,01

Исходный уровень КЖ спортсменок-девушек был значимо ($p < 0,05$) ниже на 8,7%, чем у спортсменов-юношей. После одинакового ИКВ КЖ спортсменок-девушек превысило соответствующий показатель в группе спортсменов-юношей на 4,7%, что, с одной стороны, свидетельствует о более высокой реактивности девушек на ИКВ и значительно более мощном вегетативном и нейро-регуляторном потенциале женского организма, а с другой, о проблемах адаптации девушек к условиям спортивной и общеобразовательной нагрузки в годовом цикле тренировок.

Выводы и рекомендации

1. Мотивационно-ценностная сфера исследованной выборки подростков-спортсменов, насколько об этом можно судить по индикатору при-

- влекательности для противоположного пола, деформирована в сторону дезактуализации таких традиционно важных для подростков-спортсменов ценностей как «дружба», «семья», «любовь». Исходные проявления экстраверсии (мысли о своей привлекательности для девочек (мальчиков)) заместились в ходе занятий в ШЗ интроверсией, т.е. почти полным отсутствием указанных мыслей, вытесненных мыслями об интенсивной работе над собой для достижения победы.
2. Социально-психологическая эффективность занятий в ШЗ, измеренная относительно индикаторов уровня ЛТ, составила 41% снижения уровня тревожности и почти 15 % повышения суммарного показателя КЖ в целом по выборке.
 3. Динамика изменений группового психологического профиля старшеклассников (слушателей школы здоровья) характеризовалась тем, что наиболее актуальные предикторы ЛТ дезактуализировались после проведения занятий в первую очередь и в наибольшей степени.
 4. Накопление актуальной информации о строении и функционировании собственного организма, полученной в ходе занятий ШЗ, способствовало наиболее успешной коррекции таких важнейших факторов повышения ЛТ у спортсменов-подростков в целом по выборке, как неуверенность в себе, заниженная самооценка и дефицит внимания.
 5. Анализ различных типов тревожностей, обусловленных различными элементами информационно-когнитивной среды, позволил установить, что девушки-спортсменки испытывают наибольшие трудности в учебной сфере, а юноши-спортсмены – в сфере межличностных взаимодействий.
 6. Гендерные особенности динамики КЖ заключались в том, что девушки-спортсменки в результате посещения занятий ШЗ отмечали улучшение физического здоровья в 2 раза чаще, чем юноши-спортсмены.
 7. Субъективная оценка адаптационного потенциала (способности адекватно реагировать на изменяющиеся обстоятельства) выросла в группе девушек-спортсменок после занятий в ШЗ в 32 раза по сравнению с группой юношей-спортсменов.
 8. Один и тот же медико-социальный контент (дидактический материал) ШЗ вызвал в группе девушек-спортсменок смещение акцентуации от экстраверсии в сторону интроверсии, а у юношей-спортсменов – наоборот. При этом амплитуда женского сдвига была в 22 раза выше, чем мужского, что в значительной мере объясняет почему спорт (как демилитаризованное отображение войны) снижает высокую эмоциональную лабильность женщин и способствует их физической и психологической маскулинизации.

9. Значимое повышение КЖ в группе спортсменов-юношей после проведения занятий ШЗ было достигнуто согласно критерию Вилкоксона по таким направлениям как «Здоровье», «Физическое состояние», «Отношения в процессе учебы (с коллегами, начальством и др.)».
10. В группе спортсменов-девушек КЖ значимо улучшилось по всем позициям за исключением «Отношения с детьми (чужими или своими братьями и сестрами)».

Заключение

Полученные результаты могут быть широко распространены в аналогичных спортивных школах для обеспечения мониторинга и приведения к возрастным нормам уровня личностной тревожности и качества жизни обучающихся.

Список литературы

1. Снеговая О.А. Коммуникативно-компетентный подход в образовательном пространстве высшей школы / О.А. Снеговая, Е.А. Карапетян, В.Н. Власова // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. 2019. № 10. С. 110-114. <https://doi.org/10.23672/SAE.2019.10.38994>
2. Применение когнитивной гимнастики у больных после ишемического инсульта на санаторном этапе реабилитации / Е.А. Бойко, Т.В. Кулишова, Г.И. Шумахер [и др.] // Бюллетень сибирской медицины. 2008. Т. 7. № 5-1. С. 62-67.
3. Носкова И.С. Когнитивная гимнастика // Медицинская сестра. 2017. № 5. С. 22-25.
4. Худоногов И.Ю. Социальное регулирование самосохранительного поведения. Общественное здоровье как функция информационно-когнитивного пространства. Beau Bassin, Mauritius: LAP LAMBERT, 2018. 296 с.
5. Гундаров И.А. Профилактическая медицина на рубеже веков: от факторов риска - к резервам здоровья и социальной профилактике / И.А. Гундаров, В.А. Полесский. Москва: Общество с ограниченной ответственностью Издательская группа «ГЭОТАР-Медиа», 2016. 256 с.
6. Худоногов И.Ю. Приватизация здоровья (социальные перспективы, информационные и когнитивные предпосылки) // Современные подходы к продвижению здоровья: сборник материалов VII Международной научно-практической конференции, Гомель, 25–26 октября 2018 года. Гомель: Учреждение образования «Гомельский государственный медицинский университет», 2018. С. 81-84.
7. Скутина А.В. Проблемы возникновения бихейвиористской школы и ее последователи в современной России // Проблемы экономики и управления:

- социокультурные, правовые и организационные аспекты: Сборник статей магистрантов и преподавателей КузГТУ. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2021. С. 135-140.
8. Павлов И.П. Условный рефлекс // Физиологический журнал СССР. 1935. Т. 19. №1. С. 261-275.
 9. Крылосова А.А. Формирование soft skills в процессе занятий физкультурой и спортом / А.А. Крылосова, А.В. Козлова // Физическое воспитание и студенческий спорт глазами студентов: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Казань, 16–18 ноября 2018 года / Под редакцией Р.А. Юсупова, Б.А. Акишина. Казань: Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева, 2018. С. 456-457.
 10. Научное обоснование когнитивно-информационного протезирования (медико-социологический анализ естественной репарации самосохранительных мотивационных матриц) / И.Ю. Худоногов, А.С. Иванов, Л.Г. Зарубинская [и др.] // В мире научных открытий. 2018. Т. 10. № 3. С. 41-61. <https://doi.org/10.12731/wsd-2018-3-41-61>
 11. Гуревич Т.С. Уровень тревожности и тип мотивации у спортсменов-паралимпийцев и спортсменов, не имеющих ограничений по здоровью / Т.С. Гуревич, А.Н. Фетисов, А.В. Зайцева // Лечебная физическая культура и спортивная медицина: традиции и инновации: Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной Году науки и технологий в РФ, Москва, 20 мая 2021 года / Отв. редакторы А.Б. Мирошников, Ю.А. Ермолаева. Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодёжи и туризма (ГЦОЛИФК)», 2021. С. 232-237.
 12. Юсупов И.Ю. Годовой цикл подготовки и развития двигательных качеств у бегунов на средние и длинные дистанции в условиях повышенной температуры окружающей среды // Глобальный научный потенциал. 2021. № 5(122). С. 88-91.
 13. Давлетова Н.Х. Оценка качества жизни студентов спортивного вуза / Н.Х. Давлетова, Е.А. Тафеева, Ф.А. Мавлиев // Медицина труда и экология человека. 2021. № 4(28). С. 279-296. <https://doi.org/10.24412/2411-3794-2021-10418>
 14. Текст теста личностной тревожности для подростков (с 10-17 лет) (А.М. Прихожан). https://www.ikatids38.ru/images/doc/studentu/vospitrab/kabinet_psychologa/trevozhnost.pdf (дата обращения: 20.06.2022).
 15. Байгажанова Г.К. Особенности эмоциональных состояний подростков, обучающихся в частных и государственной школах / Г.К. Байгажанова, Г.Р. Мамедгасанова // Alatau Academic Studies. 2021. № 3. С. 11-18. <https://doi.org/10.17015/aas.2021.213.01>

16. Психология здоровья: Учебник для вузов / Л.И. Августова, В.А. Ананьев, Р.А. Березовская [и др.]; Под редакцией Г.С. Никифорова. Санкт-Петербург: Питер, 2006. 607 с.
17. Калькулятор теста Манна-Уитни U (ранговая сумма Уилкоксона). Mann Whitney U test calculator (Wilcoxon rank-sum). https://www.statskingdom.com/170median_mann_whitney.html (дата обращения: 20.09.2022).
18. Александровский Ю.А. Неврозы и перекисное окисление липидов / Ю.А. Александровский, М.В. Поюровский, Г.Г. Незнамов. Москва: Наука, 1991. 144 с.
19. Расчет стэнов в Excel. <https://mybiblioteka.su/10-102832.html> (дата обращения: 20.06.2022).
20. Бурьянова А.В. Исследование ценностно-мотивационной сферы московских подростков // Научные исследования и разработки молодых ученых. 2016. № 8. С. 33-36.
21. Думчене А.Л. Качество жизни и рискованное поведение подростков, занимающихся и не занимающихся спортом / А.Л. Думчене, Г. Паужа // Воспитание и обучение: теория, методика и практика: Сборник материалов XI Международной научно-практической конференции, Чебоксары, 25 ноября 2017 года / Редколлегия: О.Н. Широков [и др.]. Чебоксары: Общество с ограниченной ответственностью «Центр научного сотрудничества «Интерактив плюс», 2017. С. 100-101. <https://doi.org/10.21661/r-465834>

References

1. Snegovaya O.A. Kommunikativno-kompetentnostnyu podkhod v obrazovatel'nom prostranstve vysshey shkoly [Communicative competence approach in the educational space of higher school]. *Gumanitarnye, sotsial'no-ekonomicheskie i obshchestvennyye nauki*, 2019, no. 10, pp. 110-114. <https://doi.org/10.23672/SAE.2019.10.38994>
2. Boyko E.A., Kulishova T.V., Shumakher G.I. et al. Primenenie kognitivnoy gimnastiki u bol'nykh posle ishemicheskogo insulta na sanatornom etape reabilitatsii [The use of cognitive gymnastics in patients after ischemic stroke at the sanatorium stage of rehabilitation]. *Byulleten' sibirskoy meditsiny*, 2008, vol. 7, no. 5-1, pp. 62-67.
3. Noskova I.S. Kognitivnaya gimnastika [Cognitive gymnastics]. *Meditsinskaya sestra*, 2017, no. 5, pp. 22-25.
4. Khudonogov I.Yu. *Sotsial'noe regulirovanie samosokhranitel'nogo povedeniya. Obshchestvennoe zdorov'e kak funktsiya informatsionno-kognitivnogo prostranstva* [Social regulation of self-preserving behavior. Public health as a function of information and cognitive space]. Beau Bassin, Mauritius: LAP LAMBERT, 2018, 296 p.
5. Gundarov I.A., Poleskiy V.A. *Profilakticheskaya meditsina na rubezhe vekov: Ot faktorov riska - k rezervam zdorov'ya i sotsial'noy profilaktike* [Preven-

- tive medicine at the turn of the century: from risk factors to health reserves and social prevention]. Moscow: GEOTAR-Media, 2016, 256 p.
6. Khudonogov I.Yu. Privatizatsiya zdorov'ya (sotsial'nye perspektivy, informatsionnye i kognitivnye predposylki) [Health Privatization (Social Perspectives, Informational and Cognitive Prerequisites)]. *Sovremennyye podkhody k prodvizheniyu zdorov'ya: sbornik materialov VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Gomel', 25–26 oktyabrya 2018 goda* [Modern Approaches to Health Promotion: Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference, Gomel, October 25–26, 2018]. Gomel: Gomel State Medical University, 2018, pp. 81-84.
 7. Skutina A.V. Problemy vozniknoveniya bikheyvioristskoy shkoly i ee posledovately v sovremennoy Rossii [Problems of the Behavioral School Emergence and Its Followers in Modern Russia]. *Problemy ekonomiki i upravleniya: sotsiokul'turnye, pravovye i organizatsionnye aspekty: Sbornik statey magistrantov i prepodavateley KuzGTU* [Problems of Economics and Management: Sociocultural, Legal and Organizational Aspects: Collection of Articles of Undergraduates and Teachers of KuzGTU]. Kemerovo: Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, 2021, pp. 135-140.
 8. Pavlov I.P. Uslovnyy refleks [Conditioned reflex]. *Fiziologicheskii zhurnal SSSR*, 1935, vol. 19, no. 1, pp. 261-275.
 9. Krylosova A.A., Kozlova A.V. Formirovanie soft skills v protsesse zanyatiy fizikul'turoy i sportom [Formation of soft skills in the process of physical education and sports]. *Fizicheskoe vospitanie i studencheskiy sport glazami studentov: Materialy IV Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Kazan', 16–18 noyabrya 2018 goda* [Physical education and student sports through the eyes of students: Proceedings of the IV All-Russian scientific and practical conference with international participation, Kazan, November 16–18, 2018] / Edited by R.A. Yusupova, B.A. Akishina. Kazan: Kazan State Technical University named after A.N. Tupolev, 2018, pp. 456-457.
 10. Khudonogov I.Yu., Ivanov A.S., Zarubinskaya L.G. and others. Nauchnoe obosnovanie kognitivno-informatsionnogo protezirovaniya (mediko-sotsiologicheskii analiz estestvennoy reparatsii samosokhranitel'nykh motivatsionnykh matrits) [Scientific substantiation of cognitive-informational prosthetics (medical-sociological analysis of natural reparation of self-preservation motivation matrix)]. *V mire nauchnykh otkrytiy*, 2018, vol. 10, no. 3, pp. 41-61. <https://doi.org/10.12731/wsd-2018-3-41-61>
 11. Gurevich T.S., Fetisov A.N., Zaytseva A.V. Uroven' trevozhnosti i tip motivatsii u sportsmenov- paralimpiytssev i sportsmenov, ne imeyushchikh ogranicheniy po zdorov'yu [Level of anxiety and type of motivation in Paralympic athletes and athletes without health restrictions]. *Lechebnaya fizicheskaya kul'tura i sportivnaya*

- meditsina: traditsii i innovatsii: Materialy IX Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy Godu nauki i tekhnologii v RF, Moskva, 20 maya 2021 goda* [Therapeutic physical culture and sports medicine: traditions and innovations: Proceedings of the IX All-Russian scientific and practical conference with international participation dedicated to the Year of Science and Technology in the Russian Federation, Moscow, May 20, 2021] / Ed. A.B. Miroshnikov, Yu.A. Ermolaeva. Moscow: Russian State University of Physical Culture, Sports, Youth and Tourism, 2021, pp. 232-237.
12. Yusupov I.Yu. *Global'nyy nauchnyy potentsial*, 2021, no. 5(122), pp. 88-91.
 13. Davletova N.Kh., Tafeeva E.A., Mavliev F.A. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka*, 2021, no. 4(28), pp. 279-296. <https://doi.org/10.24412/2411-3794-2021-10418>
 14. Prikhozhan A.M. The text of the test of personal anxiety for adolescents (from 10-17 years old). https://www.ikatids38.ru/images/doc/studentu/vospitrab/kabinet_psychologa/trevozhnost.pdf
 15. Baygazhanova G.K., Mamedgasanova G.R. *Alatoo Academic Studies*, 2021, no. 3, pp. 11-18. <https://doi.org/10.17015/aas.2021.213.01>
 16. Avgustova L.I., Anan'ev V.A., Berezovskaya R.A. et al. *Psikhologiya zdorov'ya* [Health psychology] / ed. G.S. Nikiforov. St. Petersburg: Piter, 2006, 607 p.
 17. Mann Whitney U test calculator (Wilcoxon rank-sum). https://www.statskingdom.com/170median_mann_whitney.html
 18. Aleksandrovskiy Yu.A., Poyurovskiy M.V., Neznamov G.G. *Nevrozy i perekisnoe okislenie lipidov* [Neurosis and lipid peroxidation]. Moscow: Nauka, 1991, 144 p.
 19. Calculation of stanes in Excel. <https://mybiblioteka.su/10-102832.html>
 20. Bur'yanova A.V. *Nauchnye issledovaniya i razrabotki molodykh uchenykh*, 2016, no. 8, pp. 33-36.
 21. Dumchene A.L., Pauzha G. *Vospitanie i obuchenie: teoriya, metodika i praktika: Sbornik materialov XI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Cheboksary, 25 noyabrya 2017 goda* [Education and training: theory, methodology and practice: Collection of materials of the XI International Scientific and Practical Conference, Cheboksary, November 25, 2017] / Editorial Board: O.N. Shirokov et al. Cheboksary: Center for Scientific Cooperation "Interactive Plus", 2017, pp. 100-101. <https://doi.org/10.21661/r-465834>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Худоногов Игорь Юрьевич, к.м.н., старший преподаватель кафедры истории ФГБОУ ВО РостГМУ Минздрава России
пер. Нахичеванский, 29, г. Ростов-на-Дону, 344022, Российская Федерация
fix1@ya.ru

Певнева Марина Вадимовна, к.п.н., доцент кафедры медицинской реабилитации, спортивной медицины, физического воспитания с курсом медико-социальной экспертизы
ФГБОУ ВО РостГМУ Минздрава России
пер. Нахичеванский, 29, г. Ростов-на-Дону, 344022, Российская Федерация
mpnevna63@mail.ru

Ляшенко Кристина Николаевна, главный врач
ООО «Мастер»
ул. Извилистая, 11, г. Ростов-на-Дону, 344091, Российская Федерация
gv-knl@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Igor Yu. Khudonogov, MD, Senior Lecturer of the History Department
Rostov State Medical University
29, per. Nakhichevansky, Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation
fuX1@ya.ru
SPIN-code: 8063-0786
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1781-5495>
ResearcherID: B-4399-2016
Scopus Author ID: 57224778837

Marina V. Pevneva, Candidate of Pediatric Sciences, Associate Professor of Medical Rehabilitation, Sports Medicine, Physical Education with a Course of Medical and Social Expertise Department
Rostov State Medical University
29, per. Nakhichevansky, Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation
mpnevna63@mail.ru

Kristina N. Lyashenko, Chief Physician
Master LLC
11, Izvilistaya Str., Rostov-on-Don, 344091, Russian Federation
gv-knl@mail.ru

Поступила 13.07.2022

Received 13.07.2022

После рецензирования 04.09.2022, 12.10.2022

Revised 04.09.2022, 12.10.2022

Принята 15.11.2022

Accepted 15.11.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-221-242

УДК 612.21



Научная статья | Профилактическая медицина

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АКУСТИЧЕСКОЙ ИМПЕДАНСОМЕТРИИ ЛЕГКИХ

С.П. Драган, А.В. Богомолов, В.И. Кезик, С.В. Дроздов

Обоснование. Пандемия, обусловленная новой коронавирусной инфекцией, обусловила актуальность развития неинвазивных методов экспресс-исследования функции внешнего дыхания в интересах медицинской диагностики и разработки средств индивидуальной защиты от инфекционных заболеваний, передающихся воздушно-капельным путем.

Цель. Целью исследования являлось изучение возможности повышения информативности диагностики состояния дыхательной системы путем измерения акустического импеданса модернизированным методом двух микрофонов.

Материалы и методы. Экспериментальное изучение импедансных и биофизических характеристик легких проведено на группах здоровых (12 голов) и больных пневмонией (7 голов) кроликов-самцов весом 2,5-3 кг. Для исследования акустических характеристик легких использован прямой метод импедансометрии, основанный на двухмикрофонной технике измерений, определение биофизических показателей легких основано на измерении их веса и объема.

Результаты. Экспериментально установлен факт увеличения активных потерь энергии низкочастотных акустических колебаний при их распространении в дыхательной системе, что позволяет создать информативный критерий диагностики ее состояния. При обследовании здоровых легких с применением акустической импедансометрии активные потери энергии акустических колебаний на низких частотах не должны существенно отличаться от соответствующих значений потерь энергии таких колебаний на резонансной частоте. При нарушениях проводимости воздухоносных путей или при наличии экссудата в легких активные потери на низких частотах будут существенно превышать потери на резонансной частоте: чем хуже состояние легких, тем выше будут потери. Установлено, что наличие в легких полости, имеющей собственную резонансную частоту, приводит к снижению резистанса дыхательной системы на этих частотах.

Заключение. Экспериментально зарегистрированный факт снижения резистанса на частотах ниже резонансной частоты дыхательной системы позволяет объяснить недостаточную диагностическую информативность импульсной осциллометрии. Для повышения чувствительности и специфичности импульсной осциллометрии необходимо не ограничиваться определением акустических показателей только на частотах 5 и 20 Гц, а определять их в расширенном диапазоне частот с более детализированным шагом.

Ключевые слова: дыхательная система; диагностика функции внешнего дыхания; импеданс дыхательной системы; импульсная осциллометрия; двух-микрофонный метод; измерение импеданса; резонансные характеристики дыхательной системы; биофизика легких; акустическая импедансометрия

Для цитирования. Драган С.П., Богомолов А.В., Кезик В.И., Дроздов С.В. Методические аспекты акустической импедансометрии легких // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №2. С. 221-242. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-221-242

Original article | Preventive Medicine

METHODOLOGICAL ASPECTS OF LUNG ACOUSTIC IMPEDANSOMETRY

S.P. Dragan, A.V. Bogomolov, V.I. Kezik, S.V. Drozdov

Background. The pandemic caused by a new coronavirus infection has determined the relevance of the development of non-invasive methods for express examination of the function of external respiration in the interests of medical diagnostics and development of personal protective equipment against infectious diseases transmitted by airborne droplets.

Purpose. The purpose was to study the possibility of increasing the information content of diagnosing the state of the respiratory system by measuring the acoustic impedance using the modernized two-microphone method.

Materials and methods. An experimental study of the impedance and biophysical characteristics of the lungs was carried out on groups of healthy (12 heads) and patients with pneumonia (7 heads) male rabbits weighing 2.5-3 kg. To study the acoustic characteristics of the lungs, a direct method of impedancemetry based on a two-microphone measurement technique was used; the determination of the biophysical parameters of the lungs is based on measuring their weight and volume.

Results. *The fact of an increase in active energy losses of low-frequency acoustic oscillations during their propagation in the respiratory system has been experimentally established, which makes it possible to create an informative criterion for diagnosing its condition. When examining healthy lungs using acoustic impedancemetry, the active energy loss of acoustic vibrations at low frequencies should not differ significantly from the corresponding values of the energy loss of such vibrations at the resonant frequency. In case of violations of the conductivity of the airways or in the presence of exudate in the lungs, active losses at low frequencies will significantly exceed losses at the resonant frequency: the worse the condition of the lungs, the higher the losses. It has been established that the presence in the lungs of a cavity with its own resonant frequency leads to a decrease in the resistance of the respiratory system at these frequencies.*

Conclusion. *The experimentally recorded fact of a decrease in resistance at frequencies below the resonant frequency of the respiratory system makes it possible to explain the insufficient diagnostic information content of pulsed oscillometry. To increase the sensitivity and specificity of pulsed oscillometry, it is necessary not to limit the determination of acoustic indicators only at frequencies of 5 and 20 Hz, but to determine them in an extended frequency range with a more detailed step.*

Keywords: *respiratory system; respiratory function diagnostics; respiratory system impedance; pulse oscillometry; two-microphone method; impedance measurement; resonant characteristics of the respiratory system; lung biophysics; acoustic impedancemetry*

For citation. *Dragan S.P., Bogomolov A.V., Kezik V.I., Drozdov S.V. Methodological Aspects of Acoustic Lung Impedancemetry. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 221-242. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-221-242*

Введение

В связи с пандемией, обусловленной новой коронавирусной инфекцией, возрос интерес к неинвазивным методам экспресс-исследования функции внешнего дыхания для решения задач медицинской диагностики и разработки защитного снаряжения, средств и методов защиты [1-3, 6, 17, 28, 31, 33]. К их числу относятся методы спирометрии и импульсной осциллометрии (ИОМ) [19-23]. Более информативные методы, такие как бодиплетизмография и компьютерная томография (КТ), весьма трудоемки и требуют стационарных условий [24-27]. Использование КТ-диагностики при мониторинге эффективности проводимого лечения приводит к нежелательному увеличению лучевой нагрузки на пациента.

Наиболее распространенным методом исследования функции внешнего дыхания является спирометрия [18, 29, 32]. При проведении спирометрии требуется выполнение определенных дыхательных маневров пациентов, что не всегда возможно ввиду состояния пациента или противопоказаний [4, 5]. Кроме того, метод спирометрии недостаточно информативен и не позволяет по результатам обследования объективно дифференцировать некоторые распространенные нарушения функции внешнего дыхания [7, 8, 16, 30]. Поэтому в последние годы активно развивается метод ИОМ.

ИОМ представляет собой неинвазивный метод определения акустического импеданса дыхательной системы и ее частотно-зависимых компонент в диапазоне от 5 до 35 Гц [9, 12]. Применение ИОМ не требует выполнения форсированных дыхательных маневров, что является существенным преимуществом перед спирометрией.

В работах [14, 23, 26, 29] представлены результаты сопоставления информативности спирометрии и ИОМ для некоторых заболеваний органов дыхания. Отмечается преимущество ИОМ, но, вместе с тем, подчеркивается недостаточная информативность обоих методов для экспресс-диагностики функции внешнего дыхания.

Импульсная осциллометрия обычно выполняется по стандартному протоколу на приборе «MasterScreen IOS» (VIASYS Healthcare, Германия). В ходе исследования определяется резонансная частота, модуль импеданса, резистанс (активную компоненту импеданса), реактанс (реактивную компоненту импеданса) на частотах 5, 10, 15, 20, 25 и 35 Гц, а также разность резистанса на частотах 5 и 20 Гц, площадь треугольника под кривой реактанса от 5 Гц до резонансной частоты и резонансную частоту [10-15].

Недостаточная информативность ИОМ обусловлена, в том числе, конструктивными особенностями измерительного комплекса и методологией обработки информации:

- во-первых, существующие приборы обеспечивают измерение импеданса дыхательной системы в ограниченном диапазоне частот от 5 до 35 Гц – увеличение диапазона частот позволит увеличить чувствительность и специфичность диагностики;

- во-вторых, необходима физическая модель взаимодействия акустических волн с разветвленной системой воздухоносных путей дыхательной системы – такая модель позволит повысить диагностическую информативность за счет конкретизации взаимосвязи измеряемых акустических характеристики импеданса дыхательной системы с физиологическими особенностями легких и функции внешнего дыхания;

– в-третьих, соотношение резистанса на фиксированных частотах 5 и 20 Гц не вполне корректно, поскольку не учитывает резонансную частоту, которая может изменяться в широком диапазоне (известно, что минимум резистанса находится вблизи резонансной частоты) – поэтому необходимо анализировать частотную зависимость резистанса с учетом резонансных явлений.

Цель исследования

Целью исследования являлось изучение возможности повышения информативности диагностики состояния дыхательной системы путем измерения акустического импеданса модернизированным методом двух микрофонов.

В связи невозможностью прямых объективных измерений биофизических характеристик легких у человека для достижения поставленной цели и развития методов диагностики исследованы акустические характеристики легких кроликов.

Материалы и методы исследования

В эксперименте принимали участие половозрелые самцы кроликов. Работа с животными осуществлялась согласно протоколу исследований в полном соответствии с Женевской конвенцией 1985 года «Международные принципы биомедицинских исследований с использованием животных» и Хельсинкской декларацией 2000 года о гуманном отношении к животным.

Для экспериментального изучения импедансных и биофизических характеристик легких использованы здоровые (12 голов) и большие пневмонией (7 голов) кролики весом 2,5–3 кг. Диагноз «пневмония» у больных кроликов подтвержден результатами патологоанатомического исследования. В легких кроликов контрольной группы (здоровые животные) патологические изменения не выявлены.

Для исследования акустических характеристик легких использован прямой метод импедансометрии, основанный на двухмикрофонной технике измерений [6-8, 10-15]. Метод заключается в том, что легкие кроликов, физической моделью которых является резонатор Гельмгольца, присоединяются при помощи трахеи к волноводу, представляющему собой трубу постоянного сечения. На одной стороне волновода установлен громкоговоритель, формирующий в волноводе систему плоских звуковых волн, состоящих из полигармоник, представляющий собой сумму гармоник в необходимом частотном диапазоне с заданным шагом. Формирование полигармонического

сигнала осуществляется методом прямого и обратного комплексного преобразований Фурье (с предварительным созданием комплексного аналитического сигнала с помощью преобразования Гильберта).

Для автоматизации процесса измерения импеданса во всем заданном диапазоне частот в волноводе необходимо сформировать звуковое поле, обеспечивающее идентичность полигармонического сигнала для всех процедур измерения, причем его спектр не должен содержать резких выбросов (то есть должен быть сглаженным). Для этого обычно применяют генератор белого шума. Однако это решение не удовлетворяет постановке задачи, поскольку условия стабильности параметров полигармонического сигнала для заданного диапазона частот могут быть выполнены при времени генерации, превышающем одну минуту, что не всегда возможно. Поэтому программным образом создан генератор полигармонического сигнала в заданном диапазоне частот, аналитическая функция которого имеет вид:

$$S(t) = \sum_{i=n_1}^{n_2} A_i \sin(\omega_i t + \varphi_i),$$

где i – порядковый номер частоты, n_1 и n_2 – нижняя (12 Гц) и верхняя (78 Гц) граница частоты (задается оператором и устанавливается программным образом), A_i – амплитуда сигнала для каждой частоты, ω_i – циклическая частота ($\omega_i = 2\pi f_i$), φ_i – фаза для каждой частоты. Для устранения явления биения (непрерывного циклического изменения уровня звукового давления, обусловленного арифметическим суммированием большого числа гармоник) введены фазы сигнала на каждой его гармонике. Фазы каждой гармоники полигармонического сигнала устанавливаются случайным образом в диапазоне от 0 до 360° .

Таким образом, генератором полигармонического сигнала в волноводе формируется стационарное звуковое поле с приблизительно равными амплитудами во всем заданном диапазоне частот. Выравнивание амплитуд полигармоник обеспечивается за счет использования специального программного обеспечения коррекции амплитудно-частотной характеристики источника звука в заданном диапазоне частот. Используемый алгоритм позволяет уменьшить всевозможные межчастотные искажения, а также явление биения. В этом случае измерение компонентов импеданса на каждой частоте производится одновременно, что существенно уменьшает время измерения. Время одного измерения резонансных характеристик дыхательной системы составляет не более 10 секунд.

С другой стороны, волновод заканчивается торцевой стенкой, перпендикулярной оси волновода. В центре стенки имеется круглое отверстие,

в которое вставляется трубка, с помощью которой волновод соединяется с трахеей кролика [20].

При помощи двух стандартных микрофонов, установленных стационарно на боковой поверхности волновода, на каждой частоте измеряются уровни звукового давления P_1 и P_2 в двух точках и разность фаз j_{12} между колебаниями давления в этих точках. По этим данным для каждой частоты рассчитываются значения комплексного коэффициента отражения:

$$r = \frac{\sqrt{(N^2 - 1)^2 + 4N^2 (\cos^2 kL + \cos^2 \phi_{12}) - 4N(N^2 + 1)\cos \phi_{12} \cdot \cos kL}}{N^2 + 1 - 2N \cos(kL + \phi_{12})},$$

$$\theta = \arctg \left[\frac{2N \sin kL (N \cos kL - \cos \phi_{12})}{N^2 - 1 - 2N \cos kL (N \cos kL - \cos \phi_{12})} \right],$$

где r – модуль комплексного коэффициент отражения звуковой волны от перфорированной панели, соединенной с трахеей $\bar{r} = r e^{i\theta}$, q – аргумент коэффициента отражения в месте расположения первого микрофона, k – волновое число, j_{12} – разность фаз сигналов, регистрируемых с двух микрофонов, L – расстояние между микрофонами, N – соотношение давлений в двух точках волновода $N = P_1/P_2$. Коэффициент поглощения α вычисляется по формуле:

$$\alpha = 1 - r^2.$$

По величинам r и θ рассчитываются компоненты импеданса дыхательной системы $ZI = RI + jYI$ для каждой частоты:

$$RI = \frac{1 - r^2}{1 + r^2 + 2r \cdot \cos(\theta + 2kl_2)}, \quad YI = \frac{-2r \sin(\theta + 2kl_2)}{1 + r^2 + 2r \cdot \cos(\theta + 2kl_2)},$$

где l_2 – расстояние от первого микрофона до перфорированной панели (до места сочленения волновода с трахеей кролика), а второй микрофон установлен на расстоянии L от первого микрофона по направлению к перфорированной панели.

Экспериментальным путем определяли уровни звукового давления P_1 и P_2 в двух точках, разность фаз j_{12} между сигналами. Используя вышеприведенные формулы рассчитывали активную (RI) и реактивную (YI) компоненту акустического импеданса легких кролика на каждой частоте заданного диапазона. Резонансная частота дыхательной системы (частота, на которой реактивная компонента импеданса равна нулю) определялась по максимуму коэффициента поглощения α . В рамках рассматриваемой традиционной модели, содержащей три последовательно расположенных

элемента: сопротивление, упругость инерционность резонансная частота дыхательной системы – это частота, при которой эластическое и инерционное респираторное сопротивления равны, а общее сопротивление равно фрикционному сопротивлению.

Таким образом, с высокой точностью определяли резонансную частоту и коэффициент поглощения звука легкими кролика в широком диапазоне частот. Резонансная частота дыхательной системы характеризует жизненную емкость легких – то есть это весь воздушный объем, который включает в себя все воздухоносные пути, включая совокупный альвеолярный объем легких.

Измерение импедансных характеристик легких кроликов проводилось на декапитированных животных при подсоединении измерительного комплекса непосредственно к трахее лабораторного животного. Подготовка животного к измерениям проходит следующим образом. Сначала производится неполная декапитация, при которой пересекается шейный отдел позвоночника с находящимся в нем спинным мозгом на уровне 3–4 позвонка с сохранением целостности трахеи. При этом разрезаются магистральные сосуды шейного отдела позвоночника, вся кровь самотеком вытекает, животное умерщвляется.

После этого трахея обнажается, и на нее выше щитовидного хряща накладывается зажим, голова полностью отделяется от туловища. Далее трахея отделяется от пищевода, на нее ниже щитовидного хряща накладывается зажим, щитовидный хрящ отсекается с сохранением максимальной длины трахеи [20].

Декапитированное животное укладывают на горизонтальную поверхность рядом с измерительным комплексом так, чтобы соединить трахею (без перекосов и натяжений) с трубкой перфорированной панели, установленной на торце волновода [14]. После соединения трахеи с трубкой и обеспечения герметичности этого соединения запускается измерительный комплекс.

Измерения проведены в частотном диапазоне от 12 до 78 Гц с шагом 3 Гц. Амплитуда каждой из гармоник составила 90–95 дБ.

Результатами измерений импедансных характеристик дыхательной системы кролика являются:

- значения YI , RI и α для каждой частоты заданного диапазона (безразмерные единицы);
- частота, на которой коэффициент поглощения имеет максимум – f_{amax} (Гц);

- максимальный коэффициент поглощения – α_{max} (безразмерные единицы);
- частота, на которой резистанс (активная компонента импеданса – RI) имеет минимум – f_{Rmin} (Гц);
- минимальное значение резистанса (активная компонента импеданса) – R_{min} (безразмерные единицы);
- значения коэффициента поглощения и резистанса на частотах ниже резонанса (12 и 18 Гц).

Поскольку импедансометрия легких животных проводится на частотах выбранного диапазона с дискретным шагом, для определения значений показателей на промежуточных частотах (частотах, находящихся между ближайшими частотами тестового полигармонического сигнала) применяется кубическая сплайн-интерполяция. В дальнейшем под функциями $Y(f)$, $RI(f)$ и $\alpha(f)$ понимаются кубические сплайн-функции для Y , RI и α , оптимальные по критерию наименьших квадратов.

Методика измерения биофизических показателей легких основана на измерении их веса и объема. Методика позволяет выявлять признаки вздутия легких, нарушения вентиляции, отека, повышенного кровенаполнения, ателектаза, массивных кровоизлияний. Значения веса и объема служат для расчета биофизических показателей:

- удельная плотность воздушных легких ($УПВЛ$), извлеченных из грудной клетки с предварительно пережатой трахеей;
- удельная плотность спавшихся легких ($УПСЛ$) после снятия зажима с трахеи;
- объем остаточного воздуха в легких ($ООВ$) – объем воздуха, свободно выходящего из легких при открытии трахеи, который определяется как разность объемов воздушных и спавшихся легких;
- отношение удельных плотностей воздушных и спавшихся легких, выраженное в процентах – показатель $АЛБФА$.

В исследовании применялась методика измерения объема и плотности легких кроликов изложенная в [14]. После вскрытия кроликов трахея пережимается зажимом, из грудной полости извлекается органокомплекс «сердце-легкие». Общий принцип измерения плотности органов основан на законе Архимеда: в методике реализован модифицированный вариант метода гидростатического взвешивания [14].

Предварительно определяется масса легкого (M_l). Измерения проводятся дважды. Сначала измеряется объем легких, наполненных воздухом ($V\phi$). После этого трахею надсекают в месте бифуркации, выпускают из легких воздух и измеряют объем спавшихся легких (Vcn).

Величина $УПВЛ$, г/см³, определяется по формуле:

$$УПВЛ = M_l/V_в,$$

где M_l – вес легких, г, $V_в$ – легких, наполненных воздухом, см³.

Величина $УПСЛ$, г/см³, определяется по формуле:

$$УПСЛ = M_l/V_{cn},$$

где V_{cn} – объем спавшихся легких, см³.

Величина $ООВ$, г/см³, определяется как разность объемов воздушных и спавшихся легких:

$$ООВ = V_в - V_{cn}.$$

Показатель $АЛЬФА$, % определяется как отношение удельной плотности воздушных легких к удельной плотности спавшихся легких, выраженное в процентах:

$$АЛЬФА = (УПВЛ/УПСЛ) \times 100\%.$$

Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью пакета прикладных программ Statistica 10.0 (StatSoft, USA).

Результаты исследования

На графиках рис. 1 представлены средние значения акустических характеристик (коэффициента поглощения и резистанса) легких здоровых и больных кроликов. Сплошной линией представлены данные для здоровых кроликов, пунктирной линией – для больных кроликов, показанный размах погрешности соответствует стандартной ошибке. Следует отметить, что резонансная частота (f_{amax}) и частота минимума активной компоненты импеданса ($R1$) отличаются между собой, так как характеризуют разные процессы распространения звуковой волны в дыхательной системе.

Зависимость коэффициента поглощения (a) от частоты звуковых колебаний имеет вид, характерный для резонансной системы с максимумом на частоте резонанса. У здоровых кроликов максимума коэффициента поглощения регистрировался, в среднем, на частоте 19,3 Гц, а у больных – на частоте 23,2 Гц: то есть имеется четкое и статистически достоверное различие по резонансной частоте. Резонансная частота дыхательной системы полностью характеризует жизненную емкость легких [14]. Чем выше резонансная частота, тем ниже объем легких, то есть тем меньше их жизненная емкость.

Значения коэффициентов поглощения в сопоставляемых группах близки между собой и на частотах выше резонанса отличаются несущественно.

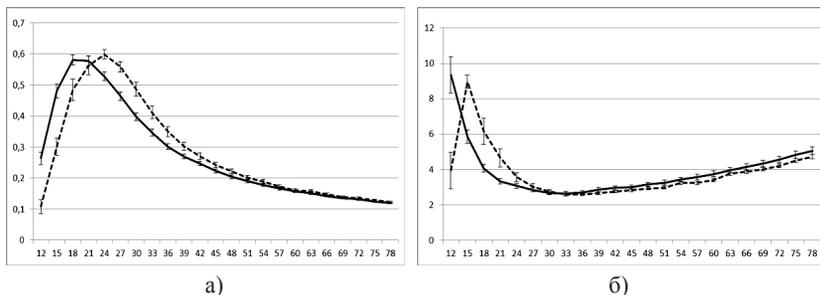


Рис. 1. Средние по группе значения акустических характеристик легких здоровых и больных кроликов (а – коэффициент поглощения звука легкими (параметр α); ось ординат α (безразмерный параметр), ось абсцисс частота, Гц; б – активная компонента импеданса (параметр RI); ось ординат RI (безразмерный параметр), ось абсцисс частота, Гц)

В результате применения процедуры кубической сплайн-интерполяции определены значения импеданса легких обследованных здоровых и больных кроликов (табл. 1).

Таблица 1.

Статистические показатели акустических характеристик легких в группах здоровых и больных кроликов

Показатели	f_{amax} , Гц	α_{max} ед.	f_{Rmin} , Гц	R_{min} ед.	α_{12} ед.	α_{18} ед.	R_{12} ед.	R_{18} ед.
Здоровые животные								
Среднее значение (M)	19,3	0,6	32,2	2,6	0,26	0,58	9,34	4,07
Стандартная ошибка (m)	0,43	0,02	0,61	0,10	0,02	0,02	1,02	0,21
Больные животные								
Среднее значение (M)	23,2	0,62	33,4	2,56	0,11	0,48	3,94	6,16
Стандартная ошибка (m)	0,94	0,01	0,53	0,09	0,02	0,04	1,03	0,73
Значение t -критерия	3,72*	0,89	1,46	0,37	5,17*	2,24*	3,71*	2,75*

Примечание: * – статистически значимые отличия средних значений показателей между группами здоровых и больных животных при $p < 0,05$.

Представленные данные свидетельствуют, что имеются статистически значимые различия характеристик легких больных и здоровых кроликов (см. нижнюю строку табл. 1, выделено полужирным шрифтом). Статистически значимые отличия зарегистрированы для частоты резонанса (f_{amax}), коэффициентов поглощения на частотах 12 Гц и 18 Гц (α_{12} и α_{18}) и резистанса (R_{12} и R_{18}) на этих частотах. Учитывая, что коэффициенты поглощения

на частотах вне резонанса являются производными от значения резистанса (RI), а их значения на резонансных частотах у здоровых и больных животных статистически не различаются, полагаем, что физиологический смысл имеют только значения резистанса (RI).

Для интерпретации этого физиологического смысла проведены измерения биофизических показателей легких здоровых и больных животных, результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2.

**Статистические значения биофизических показателей легких
в группах здоровых и больных кроликов**

Показатели	<i>ООВ</i> , г/см ³	<i>УПВЛ</i> , г/см ³	<i>УПСЛ</i> , г/см ³	<i>АЛЬФА</i> , г/см ³
Здоровые животные				
Среднее значение (M)	6,22	0,45	0,61	73,95
Стандартная ошибка (m)	0,69	0,02	0,01	0,02
Больные животные				
Среднее значение (M)	3,69	0,55	0,66	83,87
Стандартная ошибка (m)	0,64	0,02	0,01	0,03
Значение t -критерия	2,69*	3,54*	3,54*	2,77*

Примечание: * - См. примечание к табл. 1.

Все измеряемые биофизические показатели легких статистически значимо отличаются в группах здоровых и больных кроликов.

В таблице 3 приведены результаты корреляционного анализа между биофизическими и импедансными показателями легких здоровых и больных кроликов. В перечень анализируемых импедансных характеристик включен дополнительный параметр - R_{12-45} равный среднему значению активной компоненты импеданса (резистанса RI) на частотах от 12 до 45 Гц.

Принципиально разный характер частотной зависимости резистанса больных и здоровых кроликов на низких частотах (рис. 1б) требует своего объяснения. С этой целью, для выявления характерных особенностей частотной зависимости резистанса (RI) проведен цикл экспериментов в волноводе с различными резонансными системами. В качестве горла резонатора использовались перфорированные панели с коэффициентом перфорации (отношение площади отверстия «горла» резонатора к площади поперечного сечения волновода), $\eta = 7,1\%$ и $\eta = 4,3\%$.

Таблица 3.

Коэффициенты корреляции между биофизическими и импедансными показателями легких здоровых и больных кроликов

Показатели	f_{max} , Гц	α_{max} , ед.	f_{Rmin} , Гц	R_{min} , ед.	α_{18} , ед.	R_{12-45} , ед.	R_{18} , ед.
Здоровые животные							
<i>ООВ</i>	-0,52	0,20	-0,12	-0,34	0,37	-0,58*	-0,58
<i>УПЛВ</i>	0,55	-0,14	0,15	0,44	-0,38	0,70*	0,67
<i>УПСЛ</i>	0,43	-0,40	0,13	0,56	-0,56	0,71*	0,65
<i>АЛЬФА</i>	0,57	0,00	0,14	0,31	-0,25	0,62*	0,61
Больные животные							
<i>ООВ</i>	0,71	-0,18	0,66	0,41	0,22	0,54	-0,30
<i>УПЛВ</i>	-0,63	0,06	-0,78*	-0,19	0,11	-0,35	-0,07
<i>УПСЛ</i>	-0,34	-0,13	-0,69	-0,02	0,68	-0,18	-0,68
<i>АЛЬФА</i>	-0,61	0,20	-0,58	-0,25	-0,36	-0,34	0,41
Все животные							
<i>ООВ</i>	-0,39	0,01	-0,12	-0,12	0,49*	-0,47*	-0,56*
<i>УПЛВ</i>	0,45	0,05	0,12	0,16	-0,45	0,55*	0,53*
<i>УПСЛ</i>	0,45	-0,13	0,10	0,25	-0,29	0,56*	0,28
<i>АЛЬФА</i>	0,43	0,15	0,14	0,09	-0,53*	0,51*	0,65*

Примечание * – статистически значимые коэффициенты корреляции между анализируемыми показателями при уровне значимости $p < 0,05$.

Распространение звука в воздухоносных путях трахеобронхиального дерева моделировали для условий:

- здоровых легких (излучение в открытое пространство или максимальная глубина воздушного промежутка между горлом и задней стенкой резонатора, равная 52,7 мм);
- больных (отек) легких, когда отсутствуют воздухоносные пути в бронхиолах, а часть альвеол закрыта или наполнено экссудатом (глубина воздушного промежутка равна 30 мм и 20 мм или волновод заканчивается жестким дном).

На рисунке 2 приведены обобщенные данные, полученные путем усреднения значений активной компоненты импеданса (RI) в заданном диапазоне частот от 12 Гц до 78 Гц при разных глубинах воздушного промежутка, включая условие излучения в свободное пространство и жесткого дна. На графике по оси абсцисс знак «∞» соответствует излучению в открытое пространство, а знак «0» – наличию жесткого дна. Черный круг соответствует коэффициенту перфорации $\eta = 7,1\%$, а светлый треугольник - $\eta = 4,3\%$.

При излучении звука в открытое пространство величина RI принимает значения, близкие 0,1, что удовлетворительно согласуется с теорией. Далее, при излучении в замкнутое пространство (в полость резонатора) величина RI увеличивается, достигая значений 5. С уменьшением глубины воздушного промежутка величина RI увеличивается и принимает значение, равное 30. Активная компонента импеданса жесткого дна несколько выше, чем у использованных панелей при глубине воздушного промежутка, равного 20 мм.

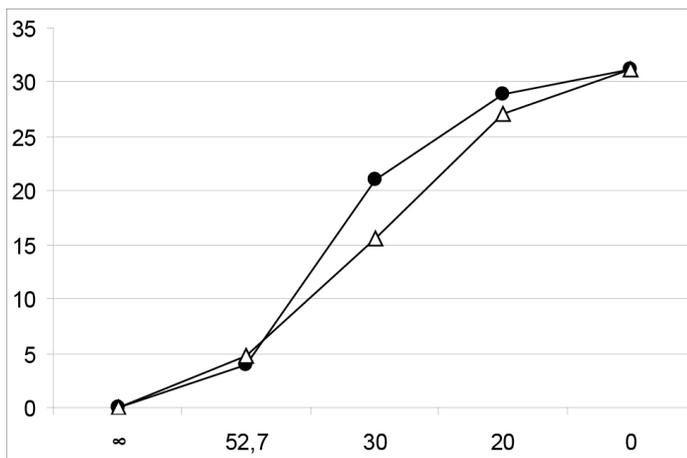


Рис. 2. Усредненные значения активной компоненты импеданса исследованных панелей в диапазоне частот 12-78 Гц для разных условий излучения (по оси абсцисс – глубина воздушного промежутка, мм, по оси ординат – активная компонента импеданса RI , ед.)

Для используемых панелей зарегистрированы однотипные аномально высокие значения активных потерь (RI) на низких частотах, которые увеличиваются при излучении в замкнутый объем. Чем меньше глубина воздушного промежутка резонатора, тем выше резистанс.

Обсуждение

Зависимости резистанса (RI) легких от частоты звуковых колебаний в группах здоровых и больных кроликов (рис. 1, табл. 1) существенно отличаются между собой на частотах ниже частоты резонанса. Зависимость резистанса контрольной группы (сплошная линия) принимает максимальные значения на частоте 12 Гц и плавно уменьшается вплоть до

частот несколько выше резонанса (32,2 Гц), а затем, с ростом частоты увеличивается.

Частотная зависимость резистанса легких больных кроликов существенно отличается: максимум зарегистрирован на частоте 18 Гц, а на частоте 12 Гц имеется спад. На частотах выше резонанса значения резистанса больных и здоровых кроликов практически не отличаются. Следует отметить, что представленные частотные зависимости характерны для всех животных обследованных групп.

Возможное объяснение этому экспериментально зарегистрированному факту заключается в том, что у больных кроликов имеются замкнутые полости в легких, имеющие более низкие резонансные частоты. Такое явление наблюдается, когда устья альвеол схлопываются и альвеолы не принимают участие в газообмене дыхательного процесса. В этом случае жизненная емкость уменьшается, а резонансная частота повышается. При действии звуковой волны на этих частотах полости испытывают колебательное движение, увеличивая тем самым присоединенную соколеблющуюся массу, что, согласно С.Н.Ржевкину, приводит к снижению активных потерь энергии (RI) [10-14].

Результаты корреляционного анализа (табл. 3) свидетельствуют о наличии статистически значимой связи между всеми регистрируемыми биофизическими показателями и резистансом R_{12-45} (средний показатель RI на частотах от 12 до 45 Гц) и R_{18} легких в группе здоровых животных и отсутствие такой связи в группе больных животных. Повышение плотности как воздушных ($УПВЛ$), так и спавшихся ($УПСЛ$) легких, сопровождается увеличением резистанса легких во всем частотном диапазоне. То есть для здоровых легких характерно, что повышение плотности легких связано с увеличением активных потерь энергии звуковой волны (резистанса RI).

Коэффициенты корреляции для всех животных (последние 4 строки табл. 3) также имеют статистически достоверные (кроме корреляции $УПСЛ$ с R_{18}), но более низкие значения. В то же время в группе больных животных такая связь отсутствует: это может свидетельствовать о том, что повышение плотности легких у больных животных не приводит к повышению активных потерь энергии звуковой волны. Можно отметить, что в группе больных кроликов имеется статистически значимая сильная отрицательная корреляционная связь между $УПВЛ$ и частотой минимума резистанса (f_{Rmin}): чем больше плотность, тем ниже частота минимума. У здоровых кроликов такая связь отсутствует.

Вероятное объяснение зарегистрированного факта однотипных высоких значений активных потерь (RI) на низких частотах, которые увеличиваются при излучении в замкнутый объем (рис. 2), заключается в следующем. При излучении звука в замкнутый объем, которым являются воздухоносные пути легких, необходимо учитывать газодинамические циркулирующие течения [10, 11, 13], на формирование которых расходуется энергия звуковой волны, что и приводит к увеличению резистанса на низких частотах.

Таким образом, модельные эксперименты с панелями позволяют сделать предположение, что в зависимости от глубины воздушного промежутка или применительно к легким, в зависимости от удаленности от места формирования отраженной волны в воздухоносных путях, активная компонента (резистанс RI) увеличивается или уменьшается, характеризуя состояние воздухоносных путей: если воздухоносные пути трахеобронхиального дерева не свободны, то величина RI увеличивается по сравнению со здоровыми легкими. Чем выше значение RI на низких частотах, тем меньше глубина открытых воздухоносных путей и, соответственно, тем существеннее отклонение состояния легких от нормы.

Заключение

Использование зарегистрированного факта изменение резонансной частоты дыхательной системы между больными и здоровыми легкими позволяет создать информативный критерий для диагностики. Увеличение резонансной частоты приводит к снижению жизненной емкости легких.

При нарушениях проводимости воздухоносных путей в легких частотная зависимость активной компоненты импеданса будет существенно отличаться на низких частотах. Частотная зависимость активной компоненты импеданса больных легких имеет немонотонный характер, в отличие от монотонной зависимости здоровых легких.

По-видимому, наличие в легких полости, имеющей собственную резонансную частоту, приводит к снижению резистанса дыхательной системе на этих частотах. Экспериментально зарегистрированный факт снижения резистанса на частотах ниже резонансной частоты дыхательной системы позволяет объяснить недостаточную диагностическую информативность ИОМ. Для повышения чувствительности и специфичности ИОМ необходимо не ограничиваться определением акустических показателей только на частотах 5 и 20 Гц, а определять их в расширенном диапазоне частот с более детализированным шагом.

Заключение комитета по этике. Исследование было проведено в соответствии с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board) и одобрено комитетом по этике ГНЦ РФ – ФМБЦ им. А.И.Бурназяна ФМБА России (протокол № 07 от 21 марта 2022 г.)

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 22-29-00808.

Список литературы / References

1. Alekhin M. D., Anishchenko L. N., Zhuravlev A. V., Ivashov S. I., Korostovtseva L. S., Sviryaev Y. V. Estimation of information value of diagnostic data obtained by bioradiolocation pneumography in non-contact screening of sleep apnea syndrome. *Biomedical Engineering*, 2013, vol. 47, no. 2, pp. 96-99. <https://doi.org/10.1007/s10527-013-9343-8>
2. Alekhin M., Anishchenko L., Tataraidze A., Ivashov S., Parashin V., Korostovtseva L. A novel method for recognition of bioradiolocation signal breathing patterns for noncontact screening of sleep apnea syndrome. *International Journal of Antennas and Propagation*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/969603>
3. Alekhin M.D., Bogomolov A.V., Kukushkin Y.A. Methods for analysis of respiratory patterns during non-contact monitoring of psychophysiological states of ergatic systems operators. *Aerospace and environmental medicine*, 2019, vol. 53, no. 2, pp. 99-101.
4. Bednarek M., Grabicki M., Piorunek T., Batura-Gabryel H. Current place of impulse oscillometry in the assessment of pulmonary diseases. *Respiratory Medicine*, 2020, p. 170. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2020.105952>
5. Berger K. I., Wohlleber M., Goldring R. M., Reibman J., Farfel M. R., Friedman S. M. Respiratory impedance measured using impulse oscillometry in a healthy urban population. *ERJ Open Research*, 2021, vol. 7, no. 1, pp. 00560-2020. <https://doi.org/10.1183/23120541.00560-2020>
6. Bogomolov A. Information technologies of digital adaptive medicine. *Automation and Information*, 2021, vol. 20, no. 5, pp. 1153-1181. <https://doi.org/10.15622/ia.20.5.6>
7. Bogomolov A. V., Dragan S. P. Mathematical justification of the acoustic method for measuring the impedance of the respiratory tract. *Doklady Biochemistry*

- and Biophysics*, 2015, vol. 464, no. 1, pp. 319-321. <https://doi.org/10.31857/S0869-5652487197-101>
8. Bogomolov A.V., Dragan S.P., Erofeev G.G. Mathematical model of sound absorption by lungs with acoustic stimulation of the respiratory system. *Doklady Biochemistry and Biophysics*, 2019;487(1):247-250. <https://doi.org/10.1134/S160767291904001X>
 9. Desai U., Joshi J. M. Impulse oscillometry. *Advances in Respiratory Medicine*, 2019, vol. 87, no. 4, pp. 235-238. <https://doi.org/10.5603/ARM.a2019.0039>
 10. Dragan S. P., Bogomolov A. V. A method for acoustic impedance spectroscopy of the respiratory tract. *Biomedical Engineering*, 2016, vol. 49, no. 5, pp. 278-282. <https://doi.org/10.1007/s10527-016-9548-8>
 11. Dragan S. P., Bogomolov A. V. Method for assessing human acoustic safety. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 1, pp. 259-278. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-1-259-278>
 12. Dragan S. P., Bogomolov A. V., Kezik V. I. Analysis of impedance characteristics of the respiratory systems of animals and human. *Russian Journal of Biomechanics*, 2020, vol. 24, no. 2, pp. 187-195. <https://doi.org/10.15593/RZhBiomeh/2020.2.06>
 13. Dragan S. P., Bogomolov A. V., Kotlyar-Shapiro A. D., Kondrat'eva E. A. A method for investigation of the acoustic reflex on the basis of impedance measurements. *Biomedical Engineering*, 2017, vol. 51, no. 1, pp. 72-76. <https://doi.org/10.1007/s10527-017-9687-6>
 14. Dragan S. P., Kezik V. I., Bogomolov A. V. Physiological aspects of lung impedansometry. *News of the Russian Academy of Sciences. Biological series*, 2022, no. 2, pp. 181-190. <https://doi.org/10.31857/S1026347022010061>
 15. Dragan S. P., Veselovsky I. A., Komarov D. B., Bogomolov A. V. Hardware-software complex for experimental study of behavioral reactions of laboratory animals. *Instruments and technique of experiment*, 2021, no. 6, pp. 131-132. <https://doi.org/10.31857/S0032816221060082>
 16. Frey U., Suki B., Kraemer R., Jackson A. Human respiratory input impedance between 32 and 800 Hz, measured by interrupter technique and forced oscillations. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 1997, vol. 82, no. 3, pp. 1018-1840. <https://doi.org/10.1152/jappl.1997.82.3.1018>
 17. Ivanova S. N. Public health and health care development in the regions of Russia. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 47-63. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-2-47-63>
 18. Jabonski I. Nonstandardized lung function tests. Lung Function Testing in the 21st Century. *Methodologies and Tools Bridging Engineering to Clinical Practice*, 2018, pp. 49-80.

19. Kiryukhina L. D., Volodich O. S., Denisova N. V., Nefedova N. G., Kovaleva S. A., Archakova L. I. Impulse oscillometry in the diagnosis of obstructive ventilation disorders in pulmonary tuberculosis patients. *Tuberculosis and Lung Diseases* [this link is disabled](#), 2019, vol. 97, no. 11, pp. 34-40. <https://doi.org/10.21292/2075-1230-2019-97-11-34-40>
20. Kouri A., Dandurand R. J., Usmani O. S., Chow C. Exploring the 175-year history of spirometry and the vital lessons it can teach us today. *European Respiratory Review*, 2021, vol. 162, no. 30. <https://doi.org/10.1183/16000617.0081-2021>
21. Liang X., Zheng J., Gao Y., Zhang Z., Han W., Du J. Clinical application of oscillometry in respiratory diseases: an impulse oscillometry registry. *ERJ Open Research*, 2022, vol. 8, no. 4. <https://doi.org/10.1183/23120541.00080-2022>
22. Lipworth B., Chan R. Normal spirometry equates to normal impulse oscillometry in healthy subjects. *Respiratory Research*, 2021, vol. 22, no. 1. DOI: 10.1186/s12931-021-01693-0
23. Lu L., Peng J., Zhao N., Wu F., Tian H., Yang H. Discordant Spirometry and Impulse Oscillometry Assessments in the Diagnosis of Small Airway Dysfunction. *Frontiers in Physiology*, 2022, no. 13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.892448>
24. Lundblad L. K. A., Siddiqui S., Bossé Y., Dandurand R. J. Applications of oscillometry in clinical research and practice. *Canadian Journal of Respiratory, Critical Care, and Sleep Medicine*, 2021, vol. 5, no. 1, pp. 54-68. <https://doi.org/10.1080/24745332.2019.1649607>
25. Peng J., Wu F., Tian H., Yang H., Zheng Y., Deng Z. Clinical characteristics of and risk factors for small airway dysfunction detected by impulse oscillometry. *Respiratory Medicine*, 2021, no. 190. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2021.106681>
26. Porojan-Suppini N., Fira-Mladinescu O., Marc M., Tudorache E., Oancea C. Lung function assessment by impulse oscillometry in adults. *Therapeutics and Clinical Risk Management*, 2020, no. 16, pp. 1139-1150. <https://doi.org/10.2147/TCRM.S275920>
27. Semenova E., Kameneva M., Tishkov A. Relationship between the impulse oscillometry parameters and the lung damage in idiopathic pulmonary fibrosis patients. *European Respiratory Journal*, 2013, no 42 (suppl. 57), p. 1284.
28. Shabalina D. O., Tsibul'skaya N. Yu., Kozlov E. V., Khar'kov E. I. Starting antibiotic therapy of community-acquired pneumonia in real clinical practice. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2020, vol. 12, no. 3, pp. 40-54. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2020-12-3-39-54>
29. Smith H. J., Reinhold P., Goldman M. D. Forced oscillation technique and impulse oscillometry. *Lung Function Testing: European Respiratory Society*

- Monograph*. Sheffield, England: European Respiratory Society, 2005, p. 72-105. <https://doi.org/10.1183/1025448x.00031005>
30. Thamrin C., Finucane K.E., Singh B., Hantos Z., Sly P. Volume dependence of high-frequency respiratory mechanics in healthy adults. *Annals of Biomedical Engineering*, 2008, vol. 36, no. 1, pp. 162-170. <https://doi.org/10.1007/s10439-007-9391-x>
31. Ushakov I. B., Bogomolov A. V. Diagnostics of human functional states in priority studies of Russian physiological schools. *Medico-Biological and Socio-Psychological Issues of Safety in Emergency Situations*, 2021, no. 3, pp. 91-100. <https://doi.org/10.25016/2541-7487-2021-0-3-91-100>
32. Xu J., Sun X., Zhu H., Cao Y., Pudasaini B., Yang W. Long-term variability of impulse oscillometry and spirometry in stable COPD and asthma. *Respiratory Research*, 2022, vol. 23, no. 1. <https://doi.org/10.1186/s12931-022-02185-5>
33. Zinkin V., Vasilyeva I., Bepalov V., Osetrov A. High-intensity low-frequency acoustic vibrations have the critical effect on the lungs. *Akustika*, 2019, no. 32, pp. 5-9.

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Драган Сергей Павлович, д-р техн. наук, заведующий лабораторией

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» ФМБА России

ул. Маршала Новикова, 23, Москва, 123098, Российская Федерация
s.p.dragan@mail.ru

Богомолов Алексей Валерьевич, д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» ФМБА России

ул. Маршала Новикова, 23, Москва, 123098, Российская Федерация
a.v.bogomolov@gmail.com

Кезик Владимир Иванович, старший научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» ФМБА России

*ул. Маршала Новикова, 23, Москва, 123098, Российская Федерация
vladimirik57@mail.ru*

Дроздов Сергей Владимирович, старший научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» ФМБА России

*ул. Маршала Новикова, 23, Москва, 123098, Российская Федерация
drozdovsv87@gmail.com*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Sergey P. Dragan, Dr. Sc. (Engineering), Head of the Laboratory

*Burnazian Federal Medical Biophysical Center FMBA of Russia
23, Marshal Novikov Str., Moscow, 123098, Russian Federation
s.p.dragan@mail.ru*

SPIN-code: 3151-3067

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1576-3759>

Researcher ID: F-7870-4321

Scopus Author ID: 55055984400

Aleksey V. Bogomolov, Dr. Sc. (Engineering), Professor, Leading Researcher

*Burnazian Federal Medical Biophysical Center FMBA of Russia
23, Marshal Novikov Str., Moscow, 123098, Russian Federation
a.v.bogomolov@gmail.com*

SPIN-code: 3795-0261

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7582-1802>

Researcher ID: F-7191-2013

Scopus Author ID: 55209544700

Vladimir I. Kezik, Senior Researcher

*Burnazian Federal Medical Biophysical Center FMBA of Russia
23, Marshal Novikov Str., Moscow, 123098, Russian Federation*

vladimirik57@mail.ru

SPIN-code: 5506-2847

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9836-845X>

Researcher ID: C-8967-2015

Scopus Author ID: 6507642205

Sergey V. Drozdov, Senior Researcher

Burnazian Federal Medical Biophysical Center FMBA of Russia

23, Marshal Novikov Str., Moscow, 123098, Russian Federation

drozdovsv87@gmail.com

SPIN-code: 5650-9909

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7130-0989>

Researcher ID: G-6724-2017

Scopus Author ID: 55862693700

Поступила 08.11.2022

После рецензирования 27.11.2022

Принята 10.12.2022

Received 08.11.2022

Revised 27.11.2022

Accepted 10.12.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-243-264

УДК 159.913



Научная статья | Здравоохранение и профилактическая медицина

ХАРАКТЕРИСТИКА ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ПЕРЕЖИВАНИЕМ ВРЕМЕНИ И УРОВНЕМ НЕРВНО-ПСИХИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ У КУРСАНТОВ ВОЕННОГО ВУЗА

*М.С. Яницкий, А.А. Утюганов,
М.С. Иванов, Л.В. Фролова*

Состояние вопроса. В статье обсуждается проблема безопасности психологического здоровья курсантов военного вуза, определяемого в исследовании через понятие нервно-психического напряжения. Анализируется переживание времени, временная перспектива, содержание отношения курсантов к времени как личностные корреляты психологического здоровья.

Материалы и методы. Для изучения отношения к времени используется методика «Семантический дифференциал времени» Вассермана и методика ZTP1 Ф. Зимбардо. Для измерения уровня нервно-психического напряжения используется сокращенный вариант методики MMPI и методика измерения уровня нервно-психической устойчивости. При обработке использованы статистические методы (сравнительный анализ Манна-Уитни, кластерный анализ). Исследование проведено в Новосибирском военном институте имени генерала И.К. Яковлева войск национальной гвардии Российской Федерации на выборке из 172 курсантов.

Результаты. Исследованием показаны статистически значимые различия в характеристиках временной перспективы и семантического содержания отношения к времени между курсантами с разным уровнем нервно-психического напряжения.

Заключение. Делается вывод о наличии нелинейной зависимости между изучаемыми характеристиками по принципу «оптимума»: оптимальные показатели отношения к времени соответствуют нормальному (среднему) уровню нервно-психического напряжения.

Ключевые слова: временная перспектива личности; переживание времени; нервно-психическое напряжение; безопасность психологического здоровья; военное образование; здоровьесбережение

Для цитирования. Яницкий М.С., Утюганов А.А., Иванов М.С., Фролова Л.В. Характеристика взаимосвязи между переживанием времени и уровнем нервно-психического напряжения у курсантов военного вуза // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №2. С. 243-264. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-243-264

Original article | Public Health and Preventive Medicine

CHARACTERISTICS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE EXPERIENCE OF TIME AND THE LEVEL OF NEURO-MENTAL STRESS IN MILITARY UNIVERSITY CADETS

*M.S. Yanitsky, A.A. Utyuganov,
M.S. Ivanov, L.V. Frolova*

Background. The article discusses the problem of psychological health safety of military university cadets, defined in the study through the concept of neuro-psychic tension. The content of the cadets' attitude to time as a personal correlate of psychological health is analyzed.

Materials and methods. To study the attitude to time, Wasserman's «Semantic Time Differential» and F. Zimbardo ZTPI techniques are used. To measure the level of neuro-psychic tension, an abbreviated version of the MMPI technique and a method for measuring the level of neuropsychic stability are used. Statistical methods (Mann-Whitney comparative analysis, cluster analysis) were used in the processing. The study was conducted at the Novosibirsk Military Institute of the National Guard Troops of the Russian Federation on a sample of 172 cadets.

Results. The study shows statistically significant differences in the characteristics of the time perspective and the semantic content of the attitude to time between cadets with different levels of neuro-psychic tension.

Conclusion. It is concluded that there is a nonlinear relationship between the studied characteristics according to the principle of «optimum»: the optimal indicators of the attitude to time correspond to the normal (average) level of neuro-psychic tension.

Keywords: time perspective; experience of time; neuro-psychic tension; safety of psychological health; military education; health-saving technologies

For citation. Yanitsky M.S., Utyuganov A.A., Ivanov M.S., Frolova L.V. Characteristics of the Relationship Between the Experience of Time and the Level of Neuro-Mental

Stress in Military University Cadets. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 243-264. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-243-264

Введение

Сложность социальной и экономической обстановки, складывающейся на современном этапе развития цивилизации [9; 18], существенным образом влияет и на процесс профессиональной подготовки будущих профессионалов [6]. Это отражается и на усложнении содержания образования в военных образовательных организациях высшего образования (далее – ВУЗ) [29]. Обучение в военном ВУЗе предполагает выполнение реальных задач и несение курсантом военной службы, который с момента поступления обретает статус военнослужащего, что предполагает особый образ жизни и деятельности, а также определенный правовой статус. Несмотря на то, что большинство курсантов, зачисляемых в военные ВУЗы, подготовлены к несению службы, как физически, так и морально-психологически, но существенное изменение образа жизни, проживание вдали от близких и друзей, ограничения и дисциплина выступают для большинства курсантов стрессогенными факторами, повышающими угрозы психологическому здоровью курсантов, а для некоторых – экстремальными факторами, требующими предельного напряжения адаптационных возможностей. Кроме тягот несения военной службы существуют и многие другие стрессоры для обучающихся в военных вузах – индивидуальные проблемы с академической успеваемостью, выполнением военно-спортивных нормативов, сложная ситуация в семье курсанта, непростая и динамичная социально-экономическая ситуация и т.д. Все это приводит к накоплению стресса и общего нервно-психического утомления, снижает готовность курсанта к выполнению учебных задач и общую эффективность его учебной деятельности, повышает риск конфликтного и девиантного поведения. Сказанное показывает важность медицинского и психологического мониторинга психофизиологического состояния курсантов, профилактики, своевременного предупреждения и коррекции психологических и психофизиологических отклонений, что и изучается достаточно активно в современных психолого-педагогических исследованиях [2; 16; 28].

Вместе с тем, существует целый ряд проблем, связанных с теорией данного вопроса и практикой диагностики актуального уровня нервно-психического функционирования. Теоретические проблемы связаны с различием в методологических подходах (медицинский, психофизиологический, психологический, личностный и др.), различием в категориях

изучения рассматриваемых явлений (адаптация, стресс, напряжение, риск и др.). На практическом уровне эта проблема проявляется в недостатке конкретных диагностических критериев, надежных методов и методик диагностики, необходимости использования методов, предназначенных для диагностики других коррелирующихся явлений.

Одним из коррелятов психического состояния, в том числе с точки зрения задачи оценки его нормы-патологии, выступают темпоральные характеристики, которыми описываются явления, связанные с переживанием психологического времени. Известно, что переживание времени, субъективного настоящего, прошлого и будущего, тесно связано с текущим психическим состоянием человека. Например, автор познавательной модели депрессии А. Бек считает негативную интерпретацию прошлого и негативную оценку будущего необходимыми критериями и условиями депрессивных состояний [4]. Обсуждаемые в данной статье проблемы психофизиологического состояния курсантов военных вузов в значительной степени психологически коррелированы, что не может не отражаться в содержании их психологического отношения к происходящему, окружающим, самим себе в разрезе настоящего, прошедшего и будущего времени.

Актуальность данного исследования, на наш взгляд, состоит в необходимости изучения проблем психических состояний курсантов военных вузов в контексте общей стрессогенности несения военной службы курсантами в период обучения. Целью исследования выступает анализ взаимосвязи между содержанием переживания времени и уровнем нервно-психического напряжения у курсантов военного вуза.

Обзор литературы

Вопросы сохранения здоровья военнослужащих и курсантов [7; 20], медицинского обеспечения исполнения служебных обязанностей и обязанностей военной службы [3; 5], в том числе в условиях распространения эпидемий и пандемий массовых инфекционных заболеваний [11; 17, 34], правового регулирования этих вопросов [29] и обоснование профессиональных рисков медицинской деятельности [12; 23] стали предметом изучения в научных работах.

Проблемы же психических состояний традиционно изучаются в контексте категорий адаптации и стресса. Согласно классической психологической теории Г. Селье, стресс понимается как общий адаптационный синдром, неизбежно возникающий при воздействии неблагоприятных факторов, как ответная реакция организма на требования среды. Неспособ-

ность организма и психики справляться с неблагоприятными факторами вызывает дистресс и дезадаптацию, что и рассматривается как патологическое изменение психического состояния. Общая проблема изучения патологии психических состояний, описываемых в понятиях стресса, состоит в том, что понятие стресса не очень удобно при описании длительных состояний накопленного нервно-психического напряжения и утомления, что отмечается еще в работах Т. Кокса [32]. Предпринимаются попытки решить эту проблему, например, Китаев-Смык предлагает использовать понятие «ранги стресса» для накопленных длительных состояний [24].

Понятие дезадаптации, наоборот, применимо для изучения длительных состояний, уже переходящих в свойства, и характеризующих больше не состояние субъекта с его, субъектной, позиции, а объективно человека извне, как представляющего угрозу для себя и общества («дезадаптивная личность» и т.п.), что также не всегда удобно для характеристики переходящих не тяжелых нервно-психологических патологий.

Наиболее общим и удобным для использования в практических целях понятием, характеризующим психические состояния с рассматриваемой точки зрения, представляется понятие нервно-психического напряжения. Т.А. Немчин определяет его как психическое состояние, развивающееся у человека, находящегося в психологически сложных условиях [21]. Нервно-психическое напряжение характеризует психофизиологический уровень функционирования организма и психики и обычно не включает факторы более «высокого» психологического и, собственно, личностного порядка. Это, с одной стороны, сужает понятие, по сравнению, например, с адаптацией, в которую принято включать и личностный уровень, с другой – делает его конкретнее и понятнее для измерения при использовании в практических целях. Употребляется также близкое понятие «нервно-психическая напряженность», под которой понимается состояние готовности к встрече с неблагоприятным фактором, переживаемое, с одной стороны, как мобилизация внутренних ресурсов, с другой – как опасение и волнение.

В нашем исследовании будем понимать нервно-психическое напряжение как включающее в себя характеристику напряжения защитных механизмов и оценку уровня напряженности, как готовности противостоять новым вызовам, поскольку эти явления взаимосвязаны. Такое понимание позволяет не упустить, кроме патопсихологического смысла изучаемой характеристики, и ее адаптивную составляющую, которая проявляется в необходимости поддержания некоторого оптимального уровня нервно-психического напряжения, необходимого для выполнения деятельности.

Переживание психологического времени выступает деятельностью сознания особого рода, как сверхчувственное явление, не вплетенное «в ткань сознания», а обеспечивающее само существование сознания, существующую лишь в единстве переживания прошлого, настоящего и будущего. Обычно различают время как математическое явление и физическую функцию, отражающую протяженность протекания физических процессов, их длительность, топологическое время, отражающее соотношение между вещами, и субъективное психологическое время, выступающее психологическим отражением объективно существующего физического времени, представленного в человеческой психике. В психологических исследованиях показана согласованность внутреннего психического времени с объективным физическим, при одновременном отсутствии специфического органа, ответственного за восприятие времени, которое носит системный характер и связано с процессом переработки сенсорных сигналов и преобразования их в согласованные с объективным течением времени хронобиологические ритмы, определяющие субъективное восприятие течения времени [19].

Понятие временной перспективы одним из первых использовал Л.К. Франк, который, изучая «жизненное пространство» личности, говорил о временной перспективе этого жизненного пространства [30]. К. Левин, впервые указавший на основную функцию временной перспективы личности как субъективную интеграцию в личности своего прошлого и будущего, вследствие чего течение жизни в настоящем представляется единым [13]. Идеи К. Левина развивал П. Фресс, который ввел понятие «временной горизонт» (или «временной кругозор»), предполагая, что временные представления развиваются в процессе жизни, складываясь в определенную систему, образуя очередность прошлых или прогнозируемых событий [27]. Ж. Нюттен ввел понятия временной ориентации и временной установки, под которыми понимал доминирующую направленность и настроенность субъекта на события прошлого, настоящего или будущего [22].

Временная перспектива личности изучается в исследованиях Ф. Зимбардо, который выделяет ряд типов личностных диспозиций переживания времени, выступающих и шкалами его известной методики диагностики временной перспективы ZTPИ [35]: позитивное прошлое (фиксация на приятном прошлом), негативное прошлое (фокусировка на негативных воспоминаниях); гедонистическое настоящее (поиск удовольствий, новых ощущений и избегание боли); фаталистическое настоящее (переживание настоящего, как предопределенного, когда решения субъекта не имеют значения); будущее (ориентация на планирование будущего). Имеются данные об успешном применении методики ZTPИ на разных этнических и социальных группах [25].

В отечественной психологии Е.И. Головаха и А.А. Кроник предлагают теорию психологического времени личности, выступающее отраженной в психике частью образа мира человека [10]. В контексте теории психологии жизненного пути переживание психологического времени изучается как характеристика личностной зрелости. Зрелая личность способна к осмыслению собственного жизненного пути, его проспективной и ретроспективной оценке, плотность переживания времени напрямую связана со смыслообразованием [1]. В дальнейшем значимые результаты в изучении психологического времени были получены в исследованиях В.И. Ковалева, который ввел понятие «временная транспектива», как способность сознания соединять прошлое, настоящее и будущее, интегрируя в них время своей жизни [14].

Опираясь на выделенные Е.И. Головахой и А.А. Кроником факторы временной перспективы («континуальность-дискретность времени», «напряженность времени» и «эмоциональное отношение к диапазону времени») и используя психосемантический подход, Л.И. Вассерман с соавторами предложили методику «Семантический дифференциал времени», которая позволяет изучить индивидуальные особенности отношения личности к времени. Методика позволяет оценить отношение к прошлому, настоящему и будущему по следующим факторам: активность времени, эмоциональная окраска времени, величина времени и структура времени [8].

Проблема психологического здоровья курсантов набирает актуальность для психолого-педагогической науки. Этому способствует и обострение внешнеполитической обстановки в современной России, когда в сознании будущих офицеров готовность стать на защиту Родины все чаще обретает предельно конкретное содержание. Проводятся исследования развития личности будущих офицеров, их ценностно-смысловых характеристик [26], формирования профессионально-важного отношения к безопасности [15], представлений курсантов о своем профессиональном будущем [27], наши предыдущие исследования темпоральных характеристик [31].

Материалы и методы

В качестве методов сбора эмпирических данных использовались психосемантическая методика «Семантический дифференциал времени» Л.И. Вассермана с соавторами, а также личностный опросник «Опросник временной перспективы» (ZPTI) Ф. Зимбардо. Для обработки данных применялся метод статистического сравнительного анализа с применением U-критерия Манна-Уитни, кластерный анализ. Для обработки данных использовалась программа Stat Soft Statistica 6.

Уровень нервно-психического напряжения измерялся методиками СМОЛ Зайцева (сокращенный вариант ММРІ) и методикой диагностики нервно-психической устойчивости (НПУ), разработанной в Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова. Повышение показателей по шкалам ММРІ означает напряжение адаптационных и защитных механизмов и обычно указывает на повышение общего уровня нервно-психического напряжения. Показатель НПУ характеризует готовность к преодолению неблагоприятных факторов. Вместе эти показатели позволяют достаточно надежно оценить уровень нервно-психического напряжения.

В исследовании приняли участие 172 курсанта 1-4 курсов Новосибирского военного института имени генерала армии И.К. Яковлева войск национальной гвардии Российской Федерации, обучающиеся по направлению «Правовое обеспечение национальной безопасности», возраст испытуемых от 18 до 23 лет, средний возраст 20,9 года.

Результаты исследования

С помощью кластерного анализа методом k-средних по показателям методик СМОЛ и НПУ, выборка была разделена на три группы испытуемых с разным уровнем нервно-психического напряжения (НПН) (Таблица 1).

Таблица 1.

Показатели по методикам СМОЛ и НПУ для групп испытуемых с разным уровнем нервно-психического напряжения

Показатели	Низкое НПН (n=67)		Среднее НПН (n=78)		Повышенное НПН (n=27)	
	М	σ	М	σ	М	σ
СМОЛ 1 (ипохондрия)	43,74	2,83	48,90	3,13	58,54	6,14
СМОЛ 2 (депрессия)	35,69	3,55	41,26	4,73	55,81	6,67
СМОЛ 3 (истерия)	35,51	4,78	45,16	4,62	57,83	8,91
СМОЛ 4 (психопатия)	40,42	6,32	44,04	6,07	55,15	5,92
СМОЛ 6 (паранойя)	37,75	5,14	44,41	5,50	57,95	11,95
СМОЛ 7 (психастения)	38,48	5,95	48,15	4,76	60,64	8,28
СМОЛ 8 (шизофрения)	40,40	4,09	48,51	4,62	59,93	8,10
СМОЛ 9 (гипомания)	42,74	6,87	48,89	7,76	48,37	11,30
СМОЛ среднее	39,34	2,20	46,16	1,95	56,77	5,00
НПУ	12,34	3,33	14,68	5,29	27,07	11,70

Как видно из данных, представленных в Таблице 1, в группе с низким нервно-психическим напряжением (39% испытуемых) средние показатели по шкалам СМОЛ находятся около уровня 40 баллов или ниже (усред-

ненный по всем шкалам $M=39,34$), что соответствует низким значениям по нормам этой методики, как и показатель НПУ ($M=12,34$). Наибольшее количество испытуемых попали в группу со средним (нормальным) НПН (45% испытуемых); в этой группе показатели СМОЛ находятся на уровне 50 баллов ($M=46,16$), а НПУ $M=14,68$, что соответствует средним нормативным значениям по методикам. В группе с повышенной НПН (16% испытуемых) средние показатели по шкалам СМОЛ формально находятся в пределах нормы, но все же повышены ($M=56,77$), а средний показатель НПУ близок к зоне высоких значений ($M=27,07$ при границе нормы 29 баллов).

Последующий анализ темпоральных характеристик строится на сравнении групп испытуемых с разным уровнем нервно-психического напряжения. Показатели временной перспективы для групп с разным уровнем НПН представлены в Таблице 2.

Таблица 2.

Показатели временной перспективы по шкалам ZTP1 для групп с разным уровнем нервно-психического напряжения

Показатели	Низкое НПН (n=67)		Среднее НПН (n=78)		Повышенное НПН (n=27)		Значимые различия в парах*
	М	σ	М	σ	М	σ	
	1		2		3		
Негативное прошлое	2,19	0,82	2,19	0,69	2,42	0,71	-
Гедонистическое настоящее	3,06	0,57	2,93	0,72	2,96	0,77	-
Будущее	3,96	0,50	3,84	0,54	3,67	0,62	1-3
Позитивное прошлое	4,06	0,58	4,22	0,55	3,93	0,76	-
Фаталистическое настоящее	2,22	0,80	2,03	0,58	2,34	0,76	2-3

*прим.: указаны пары сравниваемых групп, между которыми обнаружены значимые различия по U-критерию Манна-Уитни (при $p<0,05$).

Как видно из результатов, представленных в Таблице 2, значимые различия обнаружены по двум шкалам методики ZTP1. По шкале «Будущее», отражающей позитивное отношение к своему будущему, наиболее высокий средний показатель наблюдаются в группе курсантов с низким нервно-психическим напряжением ($M=3,96$), линейно снижающийся к группе с повышенным НПН ($M=3,67$). По шкале «Фаталистическое настоящее», отражающей отношение к настоящему как неконтролируемому субъектом процессу, наблюдается нелинейная картина, указывающая на наличие оптимума нервно-психического напряжения: самый высокий показатель,

наблюдается в группе курсантов с повышенным НПП ($M=2,34$), в группе с нормальным НПП показатель снижается до самого низкого значения ($M=2,03$), а в группе с низким НПП вновь возрастает ($M=2,22$).

В Таблице 3 приведены результаты сравнительного анализа показателей временной перспективы по шкалам СДВ для групп с разным уровнем нервно-психического напряжения.

Таблица 3.

Показатели временной перспективы по шкалам СДВ для групп с разным уровнем нервно-психического напряжения

Показатели	Низкое НПП (n=67)		Среднее НПП (n=78)		Повышенное НПП (n=27)		Значимые различия в парах*
	М	σ	М	σ	М	σ	
	1		2		3		
Настоящее время							
Активность времени	4,75	3,81	5,73	4,24	5,67	4,91	-
Эмоц. окраска времени	12,22	2,45	10,81	4,63	6,81	7,39	1-3, 2-3
Величина времени	8,67	3,95	10,41	3,31	6,48	5,58	1-3, 2-3
Структура времени	8,37	4,34	8,79	4,30	4,48	4,72	1-3, 2-3
Ощущаемость времени	4,85	4,90	8,06	4,50	3,70	6,42	1-2, 2-3
Средняя оценка (настоящее)	7,77	2,30	8,76	2,43	5,43	4,56	1-2, 1-3, 2-3
Будущее время							
Активность времени	6,49	4,05	5,76	4,16	5,70	5,58	-
Эмоц. окраска времени	10,57	4,17	10,90	4,10	8,52	5,60	-
Величина времени	10,49	4,96	11,60	3,54	9,11	6,09	-
Структура времени	10,34	4,27	9,26	4,72	7,15	4,90	1-3, 2-3
Ощущаемость времени	4,00	4,58	5,27	6,41	0,67	6,94	1-3, 2-3
Средняя оценка (будущее)	8,38	2,79	8,56	2,38	6,23	4,31	1-3, 2-3
Прошедшее время							
Активность времени	4,46	3,57	4,76	3,37	4,56	4,59	-
Эмоц. окраска времени	11,58	4,49	12,33	3,20	9,30	5,54	1-3, 2-3
Величина времени	8,34	3,29	10,50	4,05	6,44	6,44	1-2, 2-3
Структура времени	7,72	4,48	8,90	4,17	5,07	5,62	2-3
Ощущаемость времени	3,36	5,28	7,58	3,68	3,74	5,68	1-2, 2-3
Средняя оценка (прошедшее)	7,09	2,72	8,81	2,10	5,82	3,69	1-2, 2-3

* прим.: указаны пары сравниваемых групп, между которыми обнаружены значимые различия по U-критерию Манна-Уитни (при $p < 0,05$).

Статистически значимые различия получены по большинству показателей методики СДВ, что указывает на высокую взаимосвязь показателей отношения к времени и нервно-психического напряжения. По большинству показателей наблюдается нелинейная зависимость с наиболее низкими или, наоборот, наиболее высокими средними значениями в группе с нормальным нервно-психическим напряжением – характерный «горб» на графике средних, наиболее выразительно проявляющийся на показателях настоящего и прошедшего времени (рис. 1). Опишем результаты по каждой временной категории.

По отношению к настоящему наблюдается указанная нелинейная зависимость по показателю средней оценки факторов ($M=7,77$ для группы с низким НПН, $M=8,76$ – со средним и $M=5,43$ – с повышенным НПН). По отдельным факторам отношения к настоящему времени наблюдается аналогичная картина, кроме фактора «Эмоциональная окраска времени»: здесь курсанты с низкой НПН отличаются наиболее высокими показателями ($M=12,22$), чем со средним ($M=10,81$) и высоким ($6,81$). Наиболее ярко предположение о существовании оптимального отношения ко времени при среднем (нормальном) нервно-психическим напряжением отражает показатель «Ощущаемость времени»: средние значения для групп с низким ($M=4,85$) и повышенным ($M=3,7$) НПН довольно низки, они находятся на уровне близком или даже ниже нормативного среднего (нормативное $M=4,65$ для этого показателя – по данным авторов методики), а в группе с нормальным НПН показатель находится на высоких значениях ($M=8,06$). Среди факторов отношения к настоящему времени не получено значимых различий между группами только по фактору «Активность времени».

По отношению к прошедшему времени картина аналогична настоящему времени – большинство факторов значимо нелинейно зависят от уровня нервно-психического напряжения. Вновь наиболее чувствительным оказался фактор ощущаемости времени: в группах с низким и повышенным НПН его средние значения находятся на низких уровнях ($M=3,36$ и $M=3,74$ соответственно), существенно ниже нормативного среднего по данным авторов методики ($5,29$), в то время как в группе с нормальной напряженностью этот показатель имеет высокие значения ($M=7,58$). Также, как и в отношении к настоящему, не обнаружено значимых различий по фактору «Активность времени».

Статистическая картина показателей отношения к будущему времени, хотя в целом и укладывается в общую тенденцию, имеет некоторые отличия. Здесь не обнаружены значимые различия не только по фактору

«Активность времени», но и факторам «Эмоциональная окраска времени» и «Величина времени». Ощущаемость будущего времени также, как и в случае с другими временными категориями, отчетливо подтверждает взаимобусловленность темпоральных характеристик и нервно-психического напряжения: при среднем уровне НПН показатель находится в пределах нормативных значений ($M=5,27$).

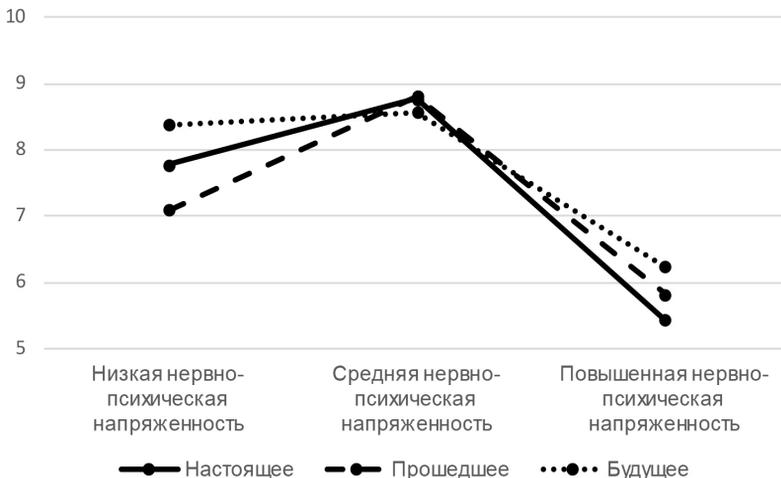


Рис. 1. Средние показатели отношения к времени для курсантов с разным уровнем нервно-психического напряжения

Обсуждение и заключения

Одним из результатов исследования выступает общая картина уровня нервно-психического напряжения среди курсантов военного института, выступающая одной из характеристик общего состояния психологического здоровья обучающихся и уровня организации здоровьесберегающего компонента безопасности образовательной среды военного вуза. Результатами показано, что подавляющее большинство курсантов характеризуются нормальным или даже пониженным уровнем нервно-психического напряжения. Группу риска образуют относительно небольшая часть курсантов, у которых выявлен повышенный уровень нервно-психического напряжения – по результатам нашего исследования их доля составляет около 15%. Вместе с тем, обращает на себя внимание и вызывает озабоченность довольно высокий процент курсантов с низким уровнем нервно-психического напряжения – таких около 40%.

Исследованием показано, что у курсантов с низким НПП, наблюдается снижение по ряду показателей отношения к времени, аналогичное тому, что характеризует курсантов с повышенным НПП – время представляется им менее ощущаемым, в терминологии авторов используемой в исследовании методики – менее реальным, более далеким, раздробленным и замкнутым. При этом, в отличие от курсантов с повышенным НПП, здесь присутствует высокая выраженность эмоционального компонента отношения к времени – время представляется не ощущаемым, не реальным, но ярким и радостным, что указывает на некоторую внутреннюю противоречивость, возможную незрелость отношения к времени, а, следовательно, к себе самому и жизни в целом.

Результаты убедительно свидетельствуют в пользу подтверждения изначального предположения о том, что отношение к времени может выступать весьма надежным индикатором уровня нервно-психического напряжения, и, в более широком смысле, психологического здоровья. Показано, что курсанты с нормальным нервно-психическим напряжением статистически значимо отличаются реалистичностью, глубиной, зрелым позитивным отношением к времени. В их отношении к времени нет эмоциональных экзальтаций, время для них ощущаемо, структурировано. Будущее наполнено не только позитивными ожиданиями, но и понятными опасениями, прошлое – не только яркими впечатлениями, но и осмысленными переживаниями.

Примечательно, что такая характеристика времени, как активность времени, семантически представленная как напряженность, плотность, стремительность, изменчивость времени – единственная не выступает индикатором нервно-психического напряжения. Вероятно, специфика обучения в военном вузе, связанная с необходимой постоянной высокой активностью курсантов, когда активная деятельная жизнь является общей ценностью и условием успешного обучения, способствует восприятию своей жизни как активной по определению, безусловно. Эмоциональная окраска времени также выбивается из обнаруженной общей тенденции, связанной с наличием оптимума – время наиболее позитивно эмоционально окрашено у курсантов с низким нервно-психическим напряжением.

Нарастание же нервно-психического напряжения затрагивает в первую очередь компоненты отношения к времени, связанные с более глубокими процессами осознания, осмысления времени и жизни в целом – ощущаемость, величина, структура времени. При высоком уровне нервно-психического напряжения у курсантов снижаются все показатели отношения к времени. Эта картина понятна, она согласуется с данными многих исследова-

дований в этой области, в частности, исследованиями Вассермана с соавторами, которые и определяют такое отношение к времени как индикатор депрессии или других расстройств. Но обнаруженное снижение показателей смыслового отношения к времени (ощущаемость, величина, структура) при повышенном показателе эмоционально позитивного отношения у курсантов с низким нервно-психическим напряжением, заставляет обратить внимание на эту весьма многочисленную группу обучающихся. Разные представления об образе курсанта как активного и всегда позитивного, совершенно очевидно, не выдерживают критики полученными результатами, которые заставляют обратить внимание на глубокие познавательные и смысловые процессы, выступающие значительно более точными индикаторами нервно-психического напряжения.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Абульханова К.А. Время личности и время жизни / К.А. Абульханова, Т.Н. Березина. СПб.: Алетей. 2001. 304 с.
2. Авдиенко Г.Ю., Гайворонский Г.О. Стрессоустойчивость военнослужащих войск национальной гвардии и программа по ее повышению // Вестник Санкт-Петербургского военного института войск национальной гвардии. 2018. № 4 (5). С. 45–47.
3. Бабайцева Е.С., Холиков И.В. Некоторые вопросы правового регулирования медицинского обеспечения войск национальной гвардии Российской Федерации // Военное право. 2020. № 2 (60). С. 78–86.
4. Бек А., Раш А., Шо Б., Эмери Г. Когнитивная терапия депрессии. СПб: Питер, 2001. 298 с.
5. Большакова В.М. Медицинское обеспечение судебной системы Российской Федерации / В.М. Большакова, И.В. Холиков, П.Ю. Наумов // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Т. 14, № 1. С. 103–127. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-1-103-127>
6. Большакова В.М. Теоретическое исследование системообразующих принципов организации судебной системы / В.М. Большакова, И.В. Холиков // Вестник Пермского университета. Юридические науки. 2022. № 58. С. 579–604. <https://doi.org/10.17072/1995-4190-2022-58-579-604>
7. Бухтияров И.В. Опыт концептуализации военных аспектов медицинского права (обсуждение главы 14 учебника «Медицинское право России»,

- ответственный редактор А.А. Мохов, изд-во «Перспектив», 2022, – материалы дискуссии) / И.В. Бухтияров, И.В. Холиков, В.М. Большакова, П.Ю. Наумов // Медицина труда и промышленная экология. 2023. Т. 63, № 1. С. 67–73. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-1-67-73>
8. Вассерман Л.И. Семантический дифференциал времени: экспертная психодиагностическая система в медицинской психологии: пособие для врачей и медицинских психологов / Л.И. Вассерман, Е.А. Трифонова, К.Р. Червинская. СПб.: СПб НИПНИ им. В.М. Бехтерева, 2009. 44 с.
 9. Гаврилов С.О. Право в точке бифуркации: обсуждение концептуального исследования военных проблем международного права (Дискуссия в формате «круглого стола» по материалам гл. 6 «Военные проблемы международного права» т. III монографии «Военное право») / С.О. Гаврилов, И.Н. Глебов, С.Г. Чукин [и др.] // Государство и право. 2022. № 12. С. 59–67. <https://doi.org/10.31857/S102694520023301-2>.
 10. Головаха Е.И. Психологическое время личности / Е.И. Головаха, А.А. Кропник. Москва: Смысл. 2008. 267 с.
 11. Жданов К.В. Оказание помощи Гвинейской Республике в борьбе с эпидемией геморрагической лихорадки Эбола / К.В. Жданов, И.В. Холиков // Военно-медицинский журнал. 2015. Т. 336, № 2. С. 93–95.
 12. Кленов М.В., Холиков И.В. Правовые и организационные вопросы контроля за состоянием здоровья работников и оказания медицинской помощи пассажирам на транспорте в России // Мир транспорта. 2019. Т. 17. № 3 (82). С. 180–191. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-3-180-191>
 13. Зейгарник Б.В. Теория личности Курта Левина. М.: Изд-во Московского университета, 1981. 117 с.
 14. Ковалев В.И. Особенности личностной организации времени жизни // Гуманистические проблемы психологической теории. Москва: Наука, 1995. С. 179–184.
 15. Костоусов А.Г., Утюганов А.А., Яницкий М.С., Иванов М.С. Представления о безопасности у курсантов военного вуза и ценностно-смысловые предикторы их сформированности // Вестник Новосибирского государственного педагогического университета. 2017. № 5. С. 37–54. <http://dx.doi.org/10.15293/2226-3365.1705.03>
 16. Лемешева В.И., Солдатов Е.А. Системные стрессы и способы формирования стрессоустойчивости военнослужащих // Известия Российской военно-медицинской академии. 2020. Т. 39. № S2. С. 146–147.
 17. Мельниченко П.И. Организационно-правовые аспекты противодействия распространению ВИЧ/СПИДа среди военнослужащих / П.И. Мельниченко

- ко, О.В. Дамаскин, И.В. Холиков, М.Ж. Паршин // Военно-медицинский журнал. 2005. Т. 326. № 2. С. 50–54.
18. Милованович А. Динамика функционирования международного права в условиях трансформации современного миропорядка: постнеклассический подход / А. Милованович, И.В. Холиков, П.Ю. Наумов // Журнал российского права. 2022. Т. 26. № 11. С. 132–148. <https://doi.org/10.12737/jrl.2022.122>
19. Михальский А.В. Психология времени (хронопсихология): Учебное пособие. Москва, МПГУ, 2016. 72 с.
20. Наумов П.Ю. Концептуальные аспекты производства медицинских экспертиз при обжаловании в судебном порядке заключений по итогам проведения военно-врачебной экспертизы / П.Ю. Наумов, В.М. Большакова, А.И. Землин, И.В. Холиков // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 6. С. 283–306. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-283-306>
21. Немчин Т.А. Состояния нервно-психического напряжения. Ленинград: ЛГУ, 1983. 166 с.
22. Нюттен Ж. Мотивация, действие и перспектива будущего / под общей редакцией Д.А. Леонтьева. М.: Смысл, 2008. 607 с.
23. Огнерубов Н.А. Профессиональные медицинские риски: условия правомерности в контексте действующего уголовного законодательства / Н.А. Огнерубов, Р.В. Зелепукин, В.М. Большакова // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 6. С. 266–282. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-266-282>
24. Психологическая антропология стресса: монография / Л.А. Китаев-Смык. Москва: Академический Проект, 2020. 943 с.
25. Сырцова А., Митина О.В., Бойд Д., Давыдова И.С., Зимбардо Ф.Д., Непряхо Т.Л., Никитина Е.А., Семенова Н.С., Фьёлен Н., Ясная В.А. Феномен временной перспективы в разных культурах (по материалам исследований с помощью методики ZPTPI) // Культурно-историческая психология. 2007. Том 3. № 4. С. 19–31. <https://doi.org/10.17759/chp.2007030403>
26. Утюганов А.А., Яницкий М.С., Серый А.В. Нарративные технологии формирования ценностно-смысловых ориентаций личности: психологическое содержание и применение в образовательной практике // Science for Education Today. 2019. № 1. С. 76–92. <http://dx.doi.org/10.15293/2658-6762.1901.05>
27. Фресс П. Восприятие и оценка времени / П. Фресс, Ж. Пиаже // Экспериментальная психология. М. Прогресс, 1978, Вып. 6. С. 88–135.
28. Хадарцев А.А., Стариков Н.Е., Грачев Р.В. Профессиональный стресс у военнослужащих // Вестник новых медицинских технологий. 2020. Т. 27. № 2. С. 74–82.

29. Холиков И.В. Федеральный государственный контроль (надзор) за соблюдением законодательства в области обеспечения безопасности объектов топливно-энергетического комплекса: новый этап регулирования и правоприменения / И.В. Холиков, П.Ю. Наумов, В.М. Большакова [и др.] // Уголь. 2022. № 10 (1159). С. 66–71. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022-10-66-71>
30. Яницкий М.С., Серый А.В., Балабашук Р.О. Хронотопические характеристики образа мира студентов вуза // Герценовские чтения: психологические исследования в образовании. 2019 № 2. С. 851–859.
31. Яницкий М.С. Временная перспектива личности в контексте проблемы психологического здоровья курсантов военного вуза / М.С. Яницкий, А.А. Утюганов, В.А. Юматов [и др.] // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Т. 14, № 2. С. 141–158. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-2-141-158>
32. Cox T. Stress Research and Stress Management: Putting Theory to Work. Health and Safety Executive, 1993.
33. Ivanov M., Yanitskiy M., Pelekh Y., Rudiuk O., Tomanek M. Fears concerning own future and personal safety strategies of student-athletes // Journal of Physical Education and Sport, 2021, 21, pp. 2112–2119, 269. <https://doi.org/10.7752/jpes.2021.s3269>
34. Sazonova K.L. The Ebola Response Team Deployment in the Guinea Republic: Organizational, Ethical, Legal Issues and a Problem of Responsibility / K.L. Sazonova, I.V. Kholikov // Ethical Challenges for Military Health Care Personnel. Edited by Daniel Messelken and David Winkler. New York : Routledge, 2018. P. 38–51.
35. Zimbardo P.G., Boyd J.N. Putting time in perspective: A valid, reliable individual differences metric // Journal of Personality and Social Psychology. 1999. Vol. 77. No. 6. P. 1271–1288. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0022-3514.77.6.1271>

References

1. Abul'khanova K.A., Berezina T.N. *Vremya lichnosti i vremya zhizni* [Personality time and life time]. SPb.: Aleteyya, 2001, 304 p.
2. Avdienko G.Yu., Gayvoronskiy G.O. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo voennogo instituta voysk natsional'noy gvardii*, 2018, no. 4 (5), pp. 45–47.
3. Babaytseva E.S., Kholikov I.V. *Voennoe pravo*, 2020, no. 2 (60), pp. 78–86.
4. Bek A., Rash A., Sho B., Emeri G. *Kognitivnaya terapiya depressii* [Cognitive therapy for depression]. SPb: Piter, 2001, 298 p.
5. Bol'shakova V.M., Kholikov I.V., Naumov P.Yu. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 1, pp. 103–127. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-1-103-127>

6. Bol'shakova V.M., Kholikov I.V. *Vestnik Permskogo universiteta. Yuridicheskie nauki*, 2022, no. 58, pp. 579–604. <https://doi.org/10.17072/1995-4190-2022-58-579-604>
7. Bukhtiyarov I.V., Kholikov I.V., Bol'shakova V.M., Naumov P.Yu. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2023, vol. 63, no. 1, pp. 67–73. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-1-67-73>
8. Vasserman L.I., Trifonova E.A., Chervinskaya K.R. *Semanticheskiy differentsial vremeni: ekspertnaya psikhodiagnosticheskaya sistema v meditsinskoj psikhologii: posobie dlya vrachey i meditsinskikh psikhologov* [Semantic time differential: expert psychodiagnostic system in medical psychology: a guide for doctors and medical psychologists]. SPb.: SPb NIPNI im. V.M. Bekhtereva, 2009, 44 p.
9. Gavrilov S.O., Glebov I.N., Chukin S.G. et al. *Gosudarstvo i pravo*, 2022, no. 12, pp. 59–67. <https://doi.org/10.31857/S102694520023301-2>
10. Golovakha E.I., Kronik A.A. *Psikhologicheskoe vremya lichnosti* [Psychological time of personality]. Moscow: Smysl, 2008, 267 p.
11. Zhdanov K.V., Kholikov I.V. *Voенno-meditsinskiy zhurnal*, 2015, vol. 336, no. 2, pp. 93–95.
12. Klenov M.V., Kholikov I.V. *Mir transporta*, 2019, vol. 17, no. 3 (82), pp. 180–191. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-3-180-191>
13. Zeygarnik B.V. *Teoriya lichnosti Kurta Levina* [Kurt Lewin's personality theory]. M.: Moscow University Press, 1981, 117 p.
14. Kovalev V.I. *Gumanisticheskie problemy psikhologicheskoy teorii* [Features of the personal organization of life time // Humanistic problems of psychological theory]. Moscow: Nauka, 1995, pp. 179–184.
15. Kostousov A.G., Utyuganov A.A., Yanitskiy M.S., Ivanov M.S. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta*, 2017, no. 5, pp. 37–54. <http://dx.doi.org/10.15293/2226-3365.1705.03>
16. Lemesheva V.I., Soldatov E.A. *Izvestiya Rossiyskoy voенno-meditsinskoy akademii*, 2020, vol. 39, no. S2, pp. 146–147.
17. Mel'nichenko P.I., Damaskin O.V., Kholikov I.V., Parshin M.Zh. *Voенno-meditsinskiy zhurnal*, 2005, vol. 326, no. 2, pp. 50–54.
18. Milovanovich A., Kholikov I.V., Naumov P.Yu. *Zhurnal rossiyskogo prava*, 2022, vol. 26, no. 11, pp. 132–148. <https://doi.org/10.12737/jrl.2022.122>
19. Mikhail'skiy A.V. *Psikhologiya vremeni (khronopsikhologiya): Uchebnoe posobie* [Psychology of time (chronopsychology)]. Moscow, MPGU, 2016, 72 p.
20. Naumov P.Yu., Bol'shakova V.M., Zemlin A.I., Kholikov I.V. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 6, pp. 283–306. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-283-306>

21. Nemchin T.A. *Sostoyaniya nervno-psikhicheskogo napryazheniya* [States of neuropsychic stress]. Leningrad: LGU, 1983, 166 p.
22. Nyutten Zh. *Motivatsiya, deystvie i perspektiva budushchego* [Motivation, action and prospects for the future] / under the general editorship of D.A. Leontiev. M.: Smysl, 2008, 607 p.
23. Ognerrubov N.A., Zelepukin R.V., Bol'shakova V.M. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 6, pp. 266–282. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-266-282>
24. *Psikhologicheskaya antropologiya stressa: monografiya* [Psychological anthropology of stress] / L.A. Kitaev-Smyk. Moscow: Akademicheskii Proekt, 2020, 943 p.
25. Syrtsova A., Mitina O.V., Boyd D., Davydova I.S., Zimbardo F.D., Nepryakho T.L., Nikitina E.A., Semenova N.S., F'elen N., Yasnaya V.A. *Kul'turno-istoricheskaya psikhologiya*, 2007, vol. 3, no. 4, pp. 19–31. <https://doi.org/10.17759/chp.2007030403>
26. Utyuganov A.A., Yanitskiy M.S., Seryy A.V. *Science for Education Today*, 2019, no. 1, pp. 76–92. <http://dx.doi.org/10.15293/2658-6762.1901.05>
27. Fress P., Piazhe Zh. *Ekspperimental'naya psikhologiya* [Experimental psychology]. M. Progress, 1978, issue 6, pp. 88–135.
28. Khadartsev A.A., Starikov N.E., Grachev R.V. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*, 2020, vol. 27, no. 2, pp. 74–82.
29. Kholikov I.V., Naumov P.Yu., Bol'shakova V.M. et al. *Ugol'*, 2022, no. 10 (1159), pp. 66–71. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022-10-66-71>
30. Yanitskiy M.S., Seryy A.V., Balabashchuk R.O. *Gertsenovskie chteniya: psikhologicheskie issledovaniya v obrazovanii*, 2019, no. 2, pp. 851–859.
31. Yanitskiy M.S., Utyuganov A.A., Yumatov V.A. et al. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 2, pp. 141–158. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-2-141-158>
32. Cox T. *Stress Research and Stress Management: Putting Theory to Work*. Health and Safety Executive, 1993.
33. Ivanov M., Yanitskiy M., Pelekh Y., Rudiuk O., Tomanek M. Fears concerning own future and personal safety strategies of student-athletes. *Journal of Physical Education and Sport*, 2021, vol. 21, pp. 2112–2119, 269. <https://doi.org/10.7752/jpes.2021.s3269>
34. Sazonova K.L., Kholikov I.V. The Ebola Response Team Deployment in the Guinea Republic: Organizational, Ethical, Legal Issues and a Problem of Responsibility. Ethical Challenges for Military Health Care Personnel. Edited by Daniel Messelken and David Winkler. New York : Routledge, 2018, pp. 38–51.
35. Zimbardo P.G., Boyd J.N. Putting time in perspective: A valid, reliable individual differences metric. *Journal of Personality and Social Psychology*, 1999, vol. 77, no. 6, pp. 1271–1288. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0022-3514.77.6.1271>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы внесли существенный вклад в подготовку работы, прочли и одобрили финальную версию статьи перед публикацией.

Яницкий М.С.: автор идеи, разрабатывал основную гипотезу, подготовил методический инструментарий, составлял теоретический обзор.

Утюганов А.А.: осуществлял поиск литературных источников, участвовал в анализе полученных данных и синтезе выводов, сформулировал итоговую редакцию результатов исследования и выводов.

Иванов М.С.: разрабатывал идею исследования, осуществлял анализ данных эмпирического исследования, участвовал в описании результатов и формулировании выводов.

Фролова Л.В.: осуществляла сбор данных эмпирического исследования, апробировала исследовательский инструментарий, разработала первичную редакцию результатов исследования и выводов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

All authors made a significant contribution to the preparation of the work, read and approved the final version of the article before publication.

Mikhail S. Yanitsky: author of the idea, developed the main hypothesis, prepared methodological tools, compiled a theoretical review.

Alexey A. Utyuganov: searched for literary sources, participated in the analysis of the data obtained and the synthesis of conclusions, formulated the final version of the research results and conclusions.

Mihail S. Ivanov: developed the idea of the study, analyzed the data of the empirical study, participated in the description of the results and the formulation of conclusions.

Larisa V. Frolova: collected empirical research data, tested research tools, developed the primary version of the research results and conclusions.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Яницкий Михаил Сергеевич, доктор психологических наук, профессор, директор социально-психологического института

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет»

ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Российская Федерация

direktorspi@kemsu.ru

Утюганов Алексей Анатольевич, доктор психологических наук, доцент, заместитель начальника военного института по научной работе – начальник научно-исследовательского и редакционно-издательского отдела
ФГКВООУ ВО «Санкт-Петербургский военный ордена Жукова институт войск национальной гвардии Российской Федерации»
ул. Летчика Пилютова, 1, г. Санкт-Петербург, 198206, Российская Федерация
outioganov@mail.ru

Иванов Михаил Сергеевич, кандидат психологических наук, доцент кафедры психологических наук
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет»
ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Российская Федерация
ivanov.mikhail@gmail.com

Фролова Лариса Валерьевна, старший преподаватель кафедры гуманитарных и социальных наук
ФГКВООУ ВО «Новосибирского военного ордена Жукова института имени генерала армии И.К. Яковлева войск национальной гвардии Российской Федерации»
ул. Ключ-Камышенское плато, 6/2, г. Новосибирск, 630114, Российская Федерация
FrolovaLora1@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Mikhail S. Yanitsky, Doctor of Psychological Sciences, Professor Director of the Socio-Psychological Institute
Kemerovo State University
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russian Federation
direktorspi@kemsu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3049-8594>
SPIN-code: 9068-7399
Scopus Author ID: 57195203226

Alexey A. Utyuganov, Doctor of Psychological Sciences, Associate Professor, Deputy Head of the Military Institute for Scientific Work

*St. Petersburg Military Order of Zhukov Institute of the National Guard
of the Russian Federation
1, Pilyutov Pilot Str., St. Petersburg, 198206 Russian Federation
outioganol@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9641-7174>*

Mihail S. Ivanov, Candidate of Psychological Sciences, Associate Professor at
the Department of Psychology
*Kemerovo State University
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russian Federation
ivanov.mikhail@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5444-0069>
SPIN-code: 3006-0121
Scopus Author ID: 57196449787*

Larisa V. Frolova, Senior Lecturer of the Department of Humanities and So-
cial Sciences
*Novosibirsk Military Academy of the Order of Zhukov of the Institute
named after General of the Army I.K. Yakovlev of the National Guard
of the Russian Federation
6/2, Klyuch-Kamyshenskoe plato, Novosibirsk, 630114, Russian Federation
FrolovaLora1@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0814-5808>
SPIN-code: 4333-2221*

Поступила 25.09.2022

После рецензирования 07.10.2022

Принята 01.11.2022

Received 25.09.2022

Revised 07.10.2022

Accepted 01.11.2022

ВНУТРЕННИЕ БОЛЕЗНИ

INTERNAL MEDICINE

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-265-283

UDC 616.7:579.61



Original article | Clinical Medicine

**CHANGE CHARACTERISTICS
IN SALIVA AND FECES MICROBIOTA
OF A DESMINOPATHY T341P PATIENT***V.Yu. Pauls*

Background. A rare muscular disease, desminopathy, is caused by mutations in the DES gene. At present, information about changes in the microbiota of biological media present in such patients is very scarce.

Purpose. The aim of the study is to study changes in the saliva and feces microbiota of patients with desminopathy T341P in a heterozygous state.

Materials and methods. The retrospective investigation comprised observation of the observation of a proband with the family form of desminopathy T341P. 56 clinically significant microorganisms were numerically analyzed immediately in the obtained biological material by gas chromatography-mass spectrometry method.

Results. The emergence of Epstein-Barr viruses, Cytomegalovirus, Herpes spp and gram-negative rods was noted in the proband's biological media under investigation during the desminopathy progression. Excessive bacterial growth of fecal microbiota was observed along with a decrease in saliva microorganisms. There is an excess of the norm in the total number of microorganisms and an increase in their species diversity. *Propionibacterium jensenii*, *Eubacterium* spp and *Eggerthella lenta* predominated in the feces and *Clostridium ramosum* – in the saliva. An increase in fecal microbiota transient with *Peptostreptococcus anaerobius* 18623 dominance was observed along with the emergence and rapid 441-time growth of potentially dangerous bacterium *Clostridium difficile*. The total level of endotoxin in the proband's saliva and fecal microbiota increases to exceed the norm in 13.7 and 81.8 times, respectively. At the same time, a low level of plasmalogen was noted.

Conclusion. *The investigation results can be useful for developing complex intervention tactics.*

Keywords: *desminopathy; myofibrillar myopathy; saliva microbiota; fecal microbiota; infection*

For citation. *Pauls V.Yu. Change Characteristics in Saliva and Feces Microbiota of a Desminopathy T341P Patient. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 265-283. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-265-283*

Научная статья | Клиническая медицина

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОБИОТЫ СЛЮНЫ И ФЕКАЛИЙ У ПАЦИЕНТА С ДЕСМИНОПАТИЕЙ T341P

В.Ю. Паульс

Обоснование. *Десминопатии относятся к редким мышечным заболеваниям, вызываемых мутациями в гене DES. В настоящее время крайне малочисленны сведения об изменении микробиоты биологических сред у данных пациентов.*

Цель. *Изучить изменение микробиоты слюны и фекалий у пациента с десминопатией T341P в гетерозиготном состоянии.*

Материалы и методы. *В ретроспективное исследование вошло наблюдение пробанда с семейной формой десминопатии T341P. Количественный анализ 56 клинически значимых микроорганизмов осуществляли непосредственно в биологическом материале методом газовой хромато-масс-спектрометрии.*

Результаты. *С прогрессированием десминопатии в рассматриваемых биологических средах пробанда установлено появление вирусов Эпштейна-Барра, Herpes spp, цитомегаловируса и грамотрицательных палочек. Наблюдается избыточный бактериальный рост фекальной микробиоты и снижение микроорганизмов в слюне. Отмечается превышение нормы по суммарному количеству микроорганизмов и увеличение их видового разнообразия. Доминируют в кале *Propionibacterium jensenii*, *Eubacterium* spp, *Eggerthella lenta*, а в слюне – *Clostridium ramosum*. Установлено выраженное увеличение транзитной микробиоты в кале с доминированием *Reptostreptococcus anaerobius* 18623, а также появление и стремительный рост в 441 раз потенциально опасной бактерии *Clostridium difficile*. Суммарный уровень эндотоксина в слюне и фекальной микробиоте пробанда возрастает и превышает норму соответственно в 13,7 и 81,8 раза. При этом отмечается низкий уровень плазмалогена.*

Заключение. Результаты исследований в перспективе могут быть использованы для определения тактики комплексных вмешательств.

Ключевые слова: десминопатия; миофибриллярная миопатия; микробиота слюны; фекальная микробиота; инфекция

Для цитирования. Паульс В.Ю. Особенности изменения микробиоты слюны и фекалий у пациента с десминопатией T341P // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №2. С. 265-283. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-265-283

Introduction

Desminopathies belong to the family of muscular diseases, called myofibrillar myopathies [21], which are caused by mutations in the desmin-encoding *DES* gene [23]. Desminopathies can result in severe and often lethal degeneration of striated muscular tissue [24]. Unfortunately, to date, there is no specific treatment of this disease [20].

The first publications about the family form of desminopathy T341P describe genealogy analysis with different clinical manifestations [15], results of histologic, cardiologic and electromyographic investigations, dynamics of immune [17] and antioxidative statuses with changes in biochemical indexes [16].

Skeletal, cardiac [11] and unstriated muscles [7] resulting, in the latter case, in digestion problems and possible changes in gastrointestinal tract [1, 2] can be involved in the desminopathological process.

The recent investigations demonstrate that intestinal microbiota helps maintaining the mass of skeletal muscles and physical function [6]. Some intestinal bacteria can increase physical performance efficiency due to their metabolism, which emphasizes the existence of microbiota-muscles axis [10]. Besides, the intestinal microbiome can also contribute to oxidative stress decrease [19].

However, microbiota are present along the whole gastrointestinal tract, the mouth cavity being the first place where a large number of microorganisms is likely to be found [5]. The complex and variable community of oral microbiota plays an important role in health, including the development of disease [25]. It is already known about the potential link between physical exercises and oral microbiome. The microbes of the mouth cavity can reflect the state of a disease in real time, including its various risks and prognosis [18].

Unfortunately, the publications characterizing the saliva and feces microbiota composition of the patients with myofibrillar myopathy are currently very scarce. In the case of rare diseases such as desminopathy, data about changes in the microbiocenosis of biological media are practically nonexistent. The relative contribution of the host genetics can be also important in the formation of organism microbiome [5].

Such investigations carried out on sick subjects will help to improve our understanding of the notion of microbiota-skeletal muscles axis, along with its underlying mechanisms (at immune, metabolic, inflammatory, neurotransmissible and hormonal levels) and pathophysiological effects [9].

The aim of the study is to study changes in the saliva and feces microbiota of patients with desminopathy T341P in a heterozygous state.

Materials and methods

The study investigated a proband with the family form of desminopathy with T341P mutation in *DES* gene (c.1021A>C) in a heterozygous state revealed in Russia (Western Siberia). The disease was first manifested at the age of 30, followed by rather slow progression over 20 years. The past medical history was studied with the examination of the available medical documents of the proband and his father with desminopathy. Father died at the age of 49 from pneumonia.

The microbiological investigation covered the proband's age from 41 up to 43. That was the most significant period in terms of progression of desminopathy, reflecting the movement ability state of the patient's organism proceeding from walking frame to wheelchair.

The new medical technology registered by Ministry of Health of the Russian Federation No. NYU-40006.2009 «Assessment of microecological status of a human by chromatography-mass spectrometry method» by G.A. Osipov [13] was applied to conduct the investigation. 56 clinically significant microorganisms - potential participants of inflammatory processes were numerically assessed in the saliva and feces on the chromatograph «Maestro» (Interlab, Russia).

Biological material was taken from the proband in the morning on an empty stomach in sterile samplers. The following microorganisms were determined in the biological material of the proband with desminopathy: cocci and bacilli - *Bacillus cereus*, *Bacillus megaterium*, *Enterococcus spp*, *Streptococcus spp*, *Streptococcus mutans* (anaerobic), *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*; anaerobes - *Bacteroides flagilis*, *Bifidobacterium spp*, *Blautia coccoides*, *Clostridium spp* (group *C. tetani*), *Clostridium difficile*, *Clostridium histolyticum*/*Streptococcus pneumonia*, *Clostridium perfringens*, *Clostridium propionicum*, *Clostridium ramosum*, *Eubacterium spp*, *Eggerthella lenta*, *Fusobacterium spp*/*Haemophilus spp*, *Lactobacillus spp*, *Peptostreptococcus anaerobius* 18623, *Peptostreptococcus anaerobius* 17642, *Prevotella spp*, *Propionibacterium spp*, *Propionibacterium acnes*, *Propionibacterium freudenreichii*, *Propionibacterium jensenii*, *Ruminococcus spp*, *Veillonella spp*; actinobacteria - *Actinomyces spp*, *Actinomyces viscosus*, *Corynebacterium spp*, *Nocardia spp*, *Nocardia asteroides*, *Mycobacterium spp*, *Pseudonocardia spp*, *Rhodococcus spp*, *Streptomyces spp*,

Streptomyces farmamarensis; enterobacteria - *Enterobacteriaceae spp (E.coli)*, *Helicobacter pylori*, *Campylobacter mucosalis*; gram-negative rods - *Alcaligenes spp/Klebsiella spp*, *Kingella spp*, *Flavobacterium spp*, *Moraxella spp/Acinetobacter spp*, *Porphyromonas spp*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Stenotrophomonas maltophilia*; fungi and yeast - *Aspergillus spp*, *Candida spp*, *microfungi*, *camp-esterol*, *sitosterol*; viruses - *Herpes spp*, *Cytomegalovirus*, *Epstein-Barr virus*.

The total endotoxin level was found by the content of hydroxy acids (structural component of lipid A) in the biomaterial. The plasmalogen level was found by the content of hexadecanoic aldehyde in the biomaterial [14].

Results

The past medical history of the revealed case of the family form of desminopathy T341P was studied with the analysis of the available medical documents. It was found out that the proband had been fed with baby milk formula in infancy, as well as raw cow's milk without thermal treatment. From 5 years old onwards he was of ectomorphic type. At the age of 9 years, he was sick with dysentery. Between the ages of 11 and 28 years, he had digestion problems periodically manifested by liquid stool movements 1-2 times a day.

By the age of 20, the proband had become allergic to the pollen of trees and herbs (mixture of cereals, *Betula*, *Artemisia*, *Atriplex*), the acute period in summer being manifested by allergic rhinitis and sneezing. However, the allergic manifestations gradually decreased and by the age of 38 they had decreased considerably.

In addition, mucous tunic inflammation of the mouth was rather frequently observed with the proband, with gum bleeding periodically observed during regular teeth cleaning twice a day up until the age of 25 years. The proband's father had suffered from halitosis after the age of 40, despite cleaning his teeth every morning. Both patients were described as having good teeth.

In general, during the first three decades of his life, the proband, in common with his father who also suffered from desminopathy T341P, were physically strong and tough, rarely experiencing respiratory diseases. Both regularly engaged in sporting activities in their youth: skiing, football, attending gym.

From the age of 30, the proband, as well as his father, started stumbling, noticed progressive muscle weakness, including difficulties in climbing stairs and getting up from a sitting or lying position, rapid-onset tiredness, temporary heart rhythm disorders. The locus of the desminopathy symptoms was slowly progressing upwards to involve the muscles of the upper extremities. During most of their lives, these patients took no medications on a regular basis. From the age of 38, the proband started walking with a cane; from the age of 40, with the help of the walking frame. In 12 years after the manifestation of desminopathy, he appeared to be confined to a wheelchair as his father had been.

The results of investigation of the saliva and feces microbiota of the proband with desminopathy T341P are given in Table 1.

Table 1.

The change in saliva and feces microbiota of the proband with desminopathy T341P

Microorganism	Biological material at the age of the proband							
	saliva				feces			
	41 years	42 years	43 years	Norm	41 years	42 years	43 years	change (43-41)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cocci, bacilli, x10 ⁵ cells/gram								
<i>Bacillus cereus</i>	0	0	119	41	1457	2725	41326	39869
<i>Bacillus megaterium</i>	0	0	38	92	4168	6956	11315	7147
<i>Enterococcus spp</i>	0	55	5	0	48	3239	536	488
<i>Streptococcus spp</i>	0	0	0	45	190	1185	4993	4803
<i>Streptococcus mutans</i> (anaerobic)	685	527	687	114	0	3638	17411	17411
<i>Staphylococcus aureus</i>	487	495	343	30	841	4171	12372	11531
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	0	0	0	0	0	148	646	646
Sum	1172	1077	1192	322	6704	22062	88599	81895
Anaerobes, x10 ⁵ cells/gram								
<i>Bacteroides flagilis</i>	168	33	155	10	387	2145	7799	7412
<i>Bifidobacterium spp</i>	1209	646	683	225	1383	3422	61422	60039
<i>Blautia coccoides</i>	40	64	114	0	0	0	0	0
<i>Clostridium spp</i> (group <i>C. tetani</i>)	0	210	85	500	893	9162	21682	20789
<i>Clostridium difficile</i>	0	129	18	0	0	35	15447	15447
<i>Clostridium histolyticum/ Streptococcus pneumonia</i>	387	280	390	50	0	112	0	0
<i>Clostridium perfringens</i>	61	101	56	84	780	7007	45357	44577
<i>Clostridium propionicum</i>	0	0	0	94	0	6488	18316	18316
<i>Clostridium ramosum</i>	17523	6855	3785	992	316	0	0	-316
<i>Eubacterium spp</i>	4055	3894	2199	565	11653	47001	147869	136216
<i>Eggerthella lenta</i>	267	307	167	40	6611	16761	94343	87732
<i>Fusobacterium spp/ Haemophilus spp</i>	0	0	135	18	0	736	3310	3310
<i>Lactobacillus spp</i>	455	1493	1550	659	1682	11555	39593	37911
<i>Peptostreptococcus anaerobius 18623</i>	265	219	693	378	10796	98118	80560	69764

Table 1 continued.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Prevotella spp</i>	123	482	71	10	1164	4173	17346	16182
<i>Propionibacterium spp</i>	389	66	151	39	0	2230	0	0
<i>Propionibacterium acnes</i>	523	159	420	44	0	4217	43129	43129
<i>Propionibacterium freudenreichii</i>	1364	823	577	243	1567	4824	24563	22996
<i>Propionibacterium jensenii</i>	0	0	33	17	18140	41465	154043	135903
<i>Ruminococcus spp</i>	0	104	143	114	0	1266	3196	3196
<i>Veillonella spp</i>	0	34	19	16	0	0	1254	1254
Sum	26829	15899	11444	4098	55372	260717	779229	723857
Actinobacteria, x10 ⁵ cells/gram								
<i>Actinomyces spp</i>	0	9	0	21	0	0	0	0
<i>Actinomyces viscosus</i>	691	373	402	113	122	1638	7193	7071
<i>Corynebacterium spp</i>	0	63	0	35	4253	4401	18511	14258
<i>Nocardia spp</i>	0	86	16	94	63	556	346	283
<i>Nocardia asteroides</i>	127	116	132	40	28	1017	2277	2249
<i>Pseudonocardia spp</i>	0	63	0	12	0	0	0	0
<i>Rhodococcus spp</i>	476	362	334	270	86	516	1382	1296
<i>Streptomyces spp</i>	303	99	382	240	8897	31221	95262	86365
Sum	1597	1171	1266	825	13449	39349	124971	111522
Enterobacteria, x10 ⁵ cells/gram								
<i>Enterobacteriaceae spp (E.coli)</i>	0	0	0	7	0	0	0	0
<i>Helicobacter pylori</i>	0	0	0	15	0	0	0	0
<i>Campylobacter mucosalis</i>	0	0	0	0	0	25	0	0
Sum	0	0	0	22	0	25	0	0
Gram-negative rods, x10 ⁵ cells/gram								
<i>Alcaligenes spp/ Klebsiella spp</i>	0	31	0	24	0	240	970	970
<i>Kingella spp</i>	0	0	0	0	0	389	0	0
<i>Moraxella spp/ Acinetobacter spp</i>	0	0	192	40	0	144	605	605
<i>Porphyromonas spp</i>	0	18	31	0	0	172	644	644
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	0	0	0	0	47	131	131
Sum	0	49	223	64	0	992	2350	2350
Fungi, yeast, x10 ⁵ cells/gram								
<i>Aspergillus spp</i>	0	493	71	980	0	3411	12137	12137

End Table 1

<i>Candida spp</i>	570	1088	409	520	118	0	0	-118
<i>Microfungi, campesterol</i>	0	49	0	115	181	1101	1827	1646
<i>Microfungi, sitosterol</i>	0	35	7	384	313	4259	10281	9968
Sum	570	1665	487	1999	612	8771	24245	23633
Total number of microorganisms	30168	19863	14612	7330	76137	331916	1019394	943257
Viruses, conv. units								
<i>Herpes spp</i>	0	6	24	0	0	448	1018	1018
<i>Cytomegalovirus</i>	0	17	9	0	0	191	137	137
<i>Epstein-Barr virus</i>	0	10	5	7	0	77	116	116
Sum (markers) of viruses	0	33	38	7	0	716	1271	1271
Plasmalogen, mcg/ml	30,8	59,55	19,21	50	3,83	6,99	33,89	30,06
Total endotoxin, nmol/ml	4,29	5,52	6,87	0,50	1,68	10,18	40,92	39,24

The variety of the investigated microorganisms in the saliva of the proband with desminopathy at the age of 41 years was determined to be 21 species, with the absence of viruses; at the age of 43, 35 species were identified, including *Epstein-Barr viruses*, *Herpes spp* and *Cytomegalovirus*. Within the last two years under the analysis, the following microorganisms were found in the saliva for the first time: anaerobes – *Clostridium difficile* (exceeding the norm up to 129 times), *Clostridium spp* (group *C. tetani*), *Fusobacterium spp/Haemophilus spp* (exceeding the norm up to 7,5 times), *Propionbacterium jensenii*, *Ruminococcus spp*, *Veillonella spp*; cocci, bacilli - *Bacillus cereus* (exceeding the norm up to 2.9 times), *Bacillus megaterium*, *Enterococcus spp*; gram-negative rods - *Moraxella spp/Acinetobacter spp* (exceeding the norm by up to 4.8 times), *Porphyromonas spp* (exceeding the norm up to 31 times); actinobacteria - *Nocardia spp*; fungi, yeast - *Aspergillus spp*, *sitosterol*.

While the total number of microorganisms detected in the patient's saliva decreased by 2.1 times during the last three years of the patient's life, it still exceeded the norm by 2 times. The total number of microorganisms of saliva microbiota of the proband with desminopathy decreased mainly due to the 4.6-time decrease in anaerobe *Clostridium ramosum*, which was predominating within 3 years of the investigations under consideration.

During the analyzed period, the relative number of anaerobes decreased by 10.6% in the composition of saliva microorganisms, but actinobacteria increased by 3.4%, cocci and bacilli increased by 4.3%, fungi and yeasts increased by 1.4%; gram-negative rods – by 1.5% (Fig. 1).

During the last analyzed year, the following microorganisms disappeared in the saliva: *Actinomyces spp*, *Corynebacterium spp*, *Pseudonocardia spp*, *Alcaligenes spp*, *Klebsiella spp*, *campesterol*. And, in general, the following microorganisms were absent in the saliva during the considered time period: *Streptococcus spp*, *Staphylococcus epidermidis*, *Clostridium propionicum*, *Kin-gella spp*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterobacteriaceae spp (E.coli)*, *Helico-bacter pylori* and *Campylobacter mucosalis*.

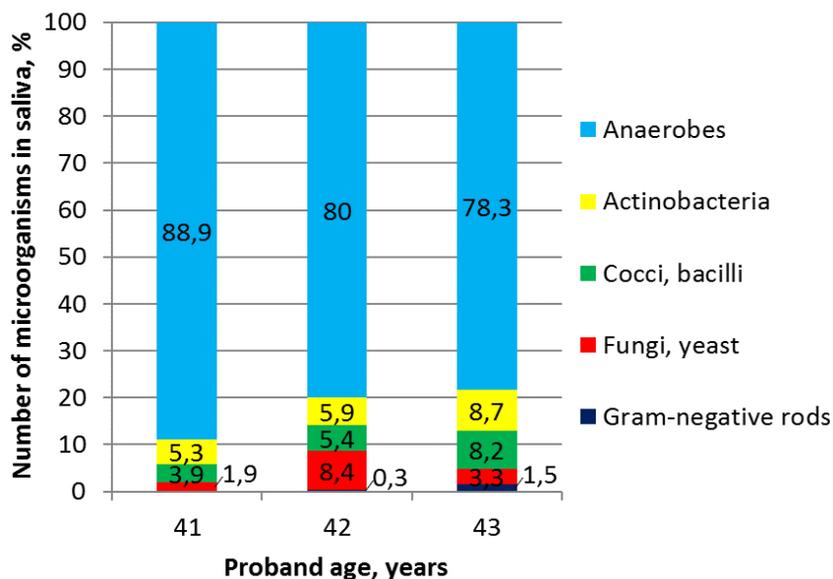


Fig. 1. The change in the relative composition of saliva microorganisms of the proband with desminopathy T341P

The total level of endotoxin in the saliva microbiota of the proband with desminopathy in the considered age interval increased by 1.6 times to reach a level exceeding the norm by 13.7 times. The plasmalogen in saliva decreased by 1.6 times to fall 2.6 times lower than the reference level.

Out of 56 species of microorganisms 26 species with the absence of viruses were found in the fecal microbiota of the proband with desminopathy in the age of 41 years, and in the age of 43-37 species already with the presence of *Epstein-Barr viruses*, *Herpes spp* and *Cytomegalovirus*. During the last analyzed year the emergence of the following 13 microorganisms was observed in the feces: gram-negative rods - *Pseudomonas aeruginosa*, *Moraxella spp*, *Acineto-*

bacter spp, Porphyromonas spp, Alcaligenes spp, Klebsiella spp; fungi - *Aspergillus spp*; cocci - *Staphylococcus epidermidis, Streptococcus mutans* (anaerobic); anaerobes - *Fusobacterium spp, Haemophilus spp, Ruminococcus spp, Clostridium difficile, Clostridium propionicum, Propionibacterium acnes, Veillonella spp*.

During the last three years the total amount of microorganisms of the proband's fecal microbiota increased in 13.4 times. First of all, this is conditioned by the increase in anaerobes by 76.6%, and in actinobacteria by 11.8%. The following predominated in the feces of the patient during the last year of the analysis: *Propionibacterium* – 15.1%; *Eubacterium spp* – 14.5%; *Eggerthella lenta* – 9.3%; *Peptostreptococcus anaerobius* (18623) – 7.9%; *Bifidobacterium spp* – 6.0%; *Clostridium perfringens* – 4.4%; *Propionibacterium acnes* – 4.2%; actinobacteria *Streptomyces spp* – 9.3%; in total constituting 70.7% of the sum of microorganisms. At the same time, the separate growth of the first three and the remainder of the abovementioned bacteria exceeded the total sum of fecal microbiota microorganisms when the proband was 41 years old.

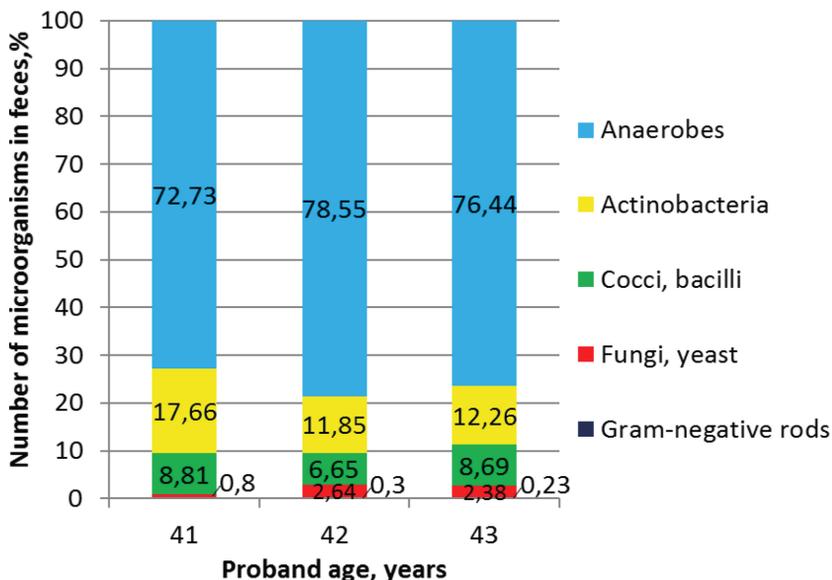


Fig. 2. The change in the relative composition of feces microorganisms of the proband with desminopathy T341P

During the analyzed period, the relative amount of anaerobes increased by 3.71% in the composition of feces microorganisms, fungi and yeast increased by

1.58%; gram-negative rods – by 0.23%; but actinobacteria decreased by 5.4%; cocci and bacilli – by 0.12% (Fig. 2).

Out of transient microorganisms, *Peptostreptococcus anaerobius* 18623 having a relative content from 7.9 up to 29.56% predominated in the fecal microbiota during the considered proband's age period (Table 2).

Table 2.

The change in the content of transient microorganisms in fecal microbiota of the proband with desminopathy T341P

Transient microorganisms	% from the total number of microorganisms of fecal microbiota in the proband's age		
	41 years	42 years	43 years
<i>Bacillus cereus</i>	1,91	0,82	4,05
<i>Enterococcus spp</i>	0,06	0,98	0,05
<i>Bacteroides fragilis</i>	0,51	0,65	0,77
<i>Clostridium difficile</i>	0	0,01	1,52
<i>Clostridium hystolyticum/ Streptococcus pneumonia</i>	0	0,03	0
<i>Peptostreptococcus anaerobius</i> 18623	14,18	29,56	7,90
<i>Campylobacter mucosalis</i>	0	0,01	0
<i>Kingella spp</i>	0	0,12	0
<i>Porphyromonas spp</i>	0	0,05	0,06
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	0,01	0,01
Sum	16,66	32,24	14,36

The sum of transient microorganisms in the feces was 14.36-32.24% from the total number of microorganisms of fecal microbiota at the known norm below 1%. The twofold growth and decrease in the abovementioned index were observed.

At the same time, 2 microorganisms disappeared in the feces during the period under consideration: *Candida spp* and *Clostridium ramosum*. Thus, the following microorganisms were not revealed in the proband's feces during the analyzed years: anaerobes - *Blautia coccooides*, *Peptostreptococcus anerobius* 17642; gram-negative rods - *Flavobacterium spp*, *Stenotrophomonas maltophilia*; actinobacteria - *Actinomyces spp*, *Mycobacterium spp*, *Pseudonocardia spp*, *Streptomyces farmamarensis*; enterobacteria - *Enterobacteriaceae spp* (*E.coli*), *Helicobacter pylori*.

The total level of endotoxin in fecal microbiota of the proband with desminopathy within the considered age interval increased in 24.4 times to exceeds the norm in 81.8 times. While plasmalogen increased by 8.8 times in the feces, it was still below the reference level by 1.5 times.

Discussion

The conducted retrospective investigations demonstrated that from the childhood the proband had had problems with digestion and mouth mucous tunic inflammation. Thus, the two-forked interaction between the host's microbiota and immune system starts from birth and developed throughout the host's life [6]. In this context, the emergence of allergies by the end of the second decade of his life was not coincidental at all.

As it is known, intestinal microbiota also directly affects outside of the gastrointestinal tract, especially the organs interdependent on the glycaemia level, including brain, liver, fatty tissue and skeletal muscles [9].

It was previously established that decreased metabolic, phagocytic and oxidative activity of monocytes and granulocytes occurs in terms of immunosuppression with the progression of the revealed case of desminopathy T341P [17]. Phagocytes are particularly responsible for utilization of killed cells [3]. As it is known, regeneration of muscles is connected with immunity [8], while dysbacteriosis or negative changes in the microbe composition of intestines can disturb the regulation of immune reactions, causing inflammation and oxidative stress [26]. Thus, taking the abovementioned into account, as well as the forced decrease in the motion and physical activity of the patients, the microbiocenosis of the organism biological media can change with progression of the considered disease.

During the middle period of the course of desminopathy, at a time when the proband still moved with the help of a walking frame, the investigated viruses and gram-negative rods, as well as anaerobes: *Clostridium difficile*, *Clostridium propionicum*, *Fusobacterium spp*, *Haemophilus spp*, *Ruminococcus spp*, *Veillonella spp*, were absent in the saliva and feces microbiota. After the middle period, when the proband appeared to already be confined to a wheelchair, the occurrence of viruses and gram-negative rods, as well as the abovementioned anaerobes, was found in the considered biological media.

The total amount of microorganisms of the proband's saliva microbiota during the analyzed age period demonstrated a two-fold decrease, while fecal microbiota, conversely exhibited a more than 13-fold increase. Thus, excessive bacterial growth of fecal microbiota was observed. At the same time, a total amount of microorganisms exceeding of the norm and increase in their specimen variety in the examined biological materials of the proband was noted. *Propionibacterium jensenii*, *Eubacterium spp*, *Eggerthella lenta* predominated in the fecal microbiota, and *Clostridium ramosum* - in the saliva microbiota.

The following 7 microorganisms were absent in the proband's saliva and feces microbiota: gram-negative rods - *Flavobacterium spp*, *Stenotrophomonas*

maltophilia; actinobacteria - *Mycobacterium spp*, *Streptomyces farmamarensis*; anaerobes - *Peptostreptococcus anaerobius 17642*; enterobacteria - *Enterobacteriaceae spp (E.coli)*, *Helicobacter pylori*.

The increased level of the proband's transient fecal microbiota with the prevalence of *Peptostreptococcus anaerobius 18623* was observed during the period under investigation. As it is known, transient microorganisms can influence the resident microbiota with the help of different mechanisms [4].

The presence of bacterium *Clostridium difficile* in the saliva and feces microbiota of the proband with desminopathy progression is especially concerning, since it was absent before in the middle of the disease course. Moreover, its rapid growth in the feces in 441 times was observed only during the last year. As it is known [22], the infection of large intestine *Clostridium difficile* is potentially dangerous for life, especially in patients having intestinal microbiota dysbiosis. Based on the foregoing, the fact that the proband's grandfather died from the rectal adenocarcinoma in the age of 72 years draws attention [15].

The total level of endotoxin in the proband's saliva and fecal microbiota increases, moreover, more intensively in the latter, exceeding the norm in more than 13 and 81, respectively. As it is known, dysbacteriosis is often accompanied by the increased number of gram-negative bacteria [19], which possess endotoxic properties and activate proinflammatory cytokines, such as IL-6 [12]. Besides, dysbacteriosis can decrease physiological adaptation, increasing the formation of active oxygen forms leading to the destruction of macromolecules by free radicals, which contributes to atrophy of skeletal muscles [19]. As was observed earlier, the increased level of IL-6 [17] and growth in oxidative stress indexes were observed with the proband while he was approaching the middle stage of the desminopathy course [16].

It is significant that an observed increase in the proband's muscle mass and physical force during the month in the age of 40 years after he stopped cleaning the teeth with toothpaste. He continued cleaning the teeth twice a day with a tooth brush with water. During that period, the proband was not taking any medications. However, 30 days later the state of his muscles had returned to their earlier emaciated state. However, the abandonment of toothpaste use clearly resulted in the changed microbiota of the mouth cavity, which temporarily, but for a significant period, improved the state of the patient's skeletal muscles. It can be considered that the majority of bacteria colonizing the mouth cavity are necessary to maintain a general state of health [5].

It is notable that, at the age of 33 years, the proband was diagnosed with lambliosis, for the treatment of which the following complex therapy was prescribed: *Cynarae scomuli foliae* extract, Mebeverine, gastro-resistant capsules

with *Bifidobacterium longum* and *Enterococcus faecium*, intestinal sorbent from lactulose with hydrolyzed lignin, antibiotic Albendazole. Due to two relapses, the lambliaosis was treated twice more at the age of 34 years following the same scheme only using antibiotics Ornidazole and Nifuratel. It is notable that the indicated complex therapy of lambliaosis each time resulted in temporary increase in the proband's muscle mass and physical force in the period from 1 to 3 months. At the same time, the same way as in the case of toothpaste-use cessation, we observed increased stamina, decreased tiredness, rapid revival with the decreased sleep duration, decreased muscle stiffness, absence of arrhythmia, improved appetite and intestinal motor skills with the emergence of borborygus when hungry, increased voice production, improvement of skin fitness.

As was discovered, quite various approaches to the microbiota of the mouth cavity or intestine of the patient with desminopathy demonstrated temporary effectiveness. Thus, a complex approach to the change in oral and intestinal microbiota can become a powerful tool to prevent and treat muscle diseases, especially those manifesting late in life.

Conclusion

The conducted retrospective investigation was used to determine changes in saliva and feces microbiota of the desminopathy T341P patient in a heterozygous state. The emergence of the investigated viruses and gram-negative rods in the considered biological media was established to accompany progression of the disease, while excessive bacterial growth of fecal microbiota occurred along with an observed increase in transient microorganisms, including endotoxins, and a reduced plasmalogen level. In perspective, the investigation results can be used by neurologists, gastroenterologists, infectiologists, dietitians, immunologists, geneticists to find the tactics of complex interventions.

The study was conducted in accordance with the principles of the provisions of the Declaration of Helsinki of the World Medical Association.

Informed consent. Informed consent was obtained from all subjects participating in the study.

Acknowledgements. The study was not sponsored.

Conflict of interest. There is no conflict of interest stated by authors.

References

1. Kazarin D.D., Shklyaev A.E., Bolkiseva P.S., Petrova E.V. The use of a specific GSRs questionnaire for differential diagnosis of diseases of the gastrointestinal

- tract. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 1, pp. 163-180. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-1-163-180>
2. Shklyaev A.E., Grigorieva O.A., Merzlyakova Yu.S., Maksimov K.V., Kazarin D.D. Influence of eating behavior, fat distribution and physical activity on symptoms of functional gastrointestinal disorders. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 46-62. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-3-46-62>
 3. Stavinskaya O.A., Dobrodeeva L.K., Patrakeeva V.P. Comparison of expression of immune responses depending on level of peripheral blood lymphocyte necrosis and apoptosis in humans. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 4, pp. 209-223. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-4-209-223>
 4. Beltrán-Barrientos L.M., García H.S., Hernández-Mendoza A. et al. Invited review: Effect of antihypertensive fermented milks on gut microbiota. *Journal of Dairy Science*, 2021, vol. 104, no. 4, pp. 3779-3788. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19466>
 5. Bescos R., Brookes Z.L., Belfield L.A. et al. Modulation of oral microbiota: A new frontier in exercise supplementation. *PharmaNutrition*, 2020, vol. 14, c. 100230. <https://doi.org/10.1016/j.phanu.2020.100230>
 6. Cerdá B., Pérez M., Pérez-Santiago J.D. et al. Gut Microbiota Modification: Another Piece in the Puzzle of the Benefits of Physical Exercise in Health? *Frontiers in physiology*, 2016, vol. 7, p. 51. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00051>
 7. Clemen C.S., Herrmann H., Strelkov S.V., Schröder R. Desminopathies: pathology and mechanisms. *Acta neuropathologica*, 2013, vol. 125, no. 1, pp. 47-75. <https://doi.org/10.1007/s00401-012-1057-6>
 8. Dort J., Fabre P., Molina T., Dumont N.A. Macrophages are key regulators of stem cells during skeletal muscle regeneration and diseases. *Stem Cells international*, 2019, vol. 2019, pp. 1-20. <https://doi.org/10.1155/2019/4761427>
 9. Gizard F., Fernandez A., De Vadder F. Interactions between gut microbiota and skeletal muscle. *Nutrition and Metabolic Insights*, 2020, vol. 13, 1178638820980490. <https://doi.org/10.1177/1178638820980490>
 10. González-Soltero R., Bailén M., de Lucas B. et al. Role of oral and gut microbiota in dietary nitrate metabolism and its impact on sports performance. *Nutrients*, 2020, vol. 12, no. 12, 3611. <https://doi.org/10.3390/nu12123611>
 11. Kulikova O., Brodehl A., Kiseleva A. et al. The desmin (*DES*) mutation p. A337P is associated with left-ventricular non-compaction cardiomyopathy. *Genes*, 2021, vol. 12, no. 1, p. 121. <https://doi.org/10.3390/genes12010121>
 12. Linsalata M., Riezzo G., D'Attoma B. et al. Noninvasive biomarkers of gut barrier function identify two subtypes of patients suffering from diarrhoea pre-

- dominant-IBS: a case-control study. *BMC gastroenterology*, 2018, vol. 18, no. 1, pp. 1-14. <https://doi.org/10.1186/s12876-018-0888-6>
13. Osipov G., Verkhovtseva N. Study of human microecology by mass spectrometry of microbial markers. *Beneficial microbes*, 2011, vol. 2, no. 1, pp. 63-78. <https://doi.org/10.3920/BM2010.0017>
 14. Osipov G.A., Boiko N.B., Fedosova N.F. et al. Comparative gas chromatography-mass spectrometry study of the composition of microbial chemical markers in feces. *Microbial Ecology in Health and Disease*, 2009, vol. 21, no. 3-4, pp. 159-171. <https://doi.org/10.3109/08910600903462657>
 15. Pauls V.Yu. A review of clinical data of family form of myofibrillar desmin myopathy. *Systematic Reviews in Pharmacy*, 2019, vol. 10, no. 2, pp. 130-136. <https://doi.org/10.5530/srp.2019.2.21>
 16. Pauls V.Yu. Change in redox status and biochemical parameters in patient with desminopathy T341P several years after disease symptoms onset. *Journal of Pharmaceutical Negative Results*, 2021, vol. 12, no. 2, pp. 24-28. <https://doi.org/10.47750/pnr.2021.12.02.004>
 17. Pauls V.Yu. Dynamics of immune status in myofibrillar myopathy with the T341P *DES* mutation. *Systematic Reviews in Pharmacy*, 2020, vol. 11, no. 9, pp. 818-824. <https://doi.org/10.31838/srp.2020.9.116>
 18. Peng X., Cheng L., You Y. et al. Oral microbiota in human systematic diseases. *International Journal of Oral Science*, 2022, vol. 14, no. 1, pp. 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41368-022-00163-7>
 19. Przewłócka K., Folwarski M., Kaźmierczak-Siedlecka K. et al. Gut-muscle axis exists and may affect skeletal muscle adaptation to training. *Nutrients*, 2020, vol. 12, no. 5, 1451. <https://doi.org/10.3390/nu12051451>
 20. Ruppert T., Heckmann M.B., Rapti K. et al. AAV-mediated cardiac gene transfer of wild-type desmin in mouse models for recessive desminopathies. *Gene therapy*, 2020, vol. 27, no. 10, pp. 516-524. <https://doi.org/10.1038/s41434-020-0147-7>
 21. Schröder R., Schoser B. Myofibrillar myopathies: a clinical and myopathological guide. *Brain pathology*, 2009, vol. 19, no. 3, pp. 483-492. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3639.2009.00289.x>
 22. Smits W.K., Lyras D., Lacy D.B. et al. Clostridium difficile infection. *Nature reviews Disease primers*, 2016, vol. 2, no. 1, pp. 1-20. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2016.20>
 23. Smolina N., Khudiakov A., Knyazeva A. et al. Desmin mutations result in mitochondrial dysfunction regardless of their aggregation properties. *BBA-Molecular Basis of Disease*, 2020, vol. 1866, no. 6, c. 165745. <https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2020.165745>
 24. Spörrer M., Kah D., Gerum R.C. et al. The desmin mutation R349P increases contractility and fragility of stem cell-generated muscle micro-tissues. *Neuro-*

- pathology and Applied Neurobiology*, 2022, vol. 48, no. 3, e12784. <https://doi.org/10.1111/nan.12784>
25. Thomas C., Minty M., Vinel A. et al. Oral microbiota: A major player in the diagnosis of systemic diseases. *Diagnostics*, 2021, vol. 11, no. 8, 1376. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11081376>
26. Yoo J.Y., Groer M., Dutra S.V.O. et al. Gut microbiota and immune system interactions. *Microorganisms*, 2020, vol. 8, no. 10, 1587. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8101587>

Список литературы

1. Казарин Д.Д., Шкляев А.Е., Болкисева П.С., Петрова Е.В. Применение специфического опросника GSRS для дифференциальной диагностики заболеваний органов пищеварения // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022. Т. 14, № 1. С. 163-180. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-1-163-180>
2. Шкляев А.Е., Григорьева О.А., Мерзлякова Ю.С., Максимов К.В., Казарин Д.Д. Влияние пищевого поведения, распределения жира и физической активности на симптомы функциональных гастроинтестинальных расстройств // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 3. С. 46-62. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-3-46-62>
3. Ставинская О.А., Добродеева Л.К., Пагракеева В.П. Влияние некроза и апоптоза лимфоцитов на выраженность иммунных реакций // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 4. С. 209-223. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-4-209-223>
4. Beltrán-Barrientos L.M., García H.S., Hernández-Mendoza A. et al. Invited review: Effect of antihypertensive fermented milks on gut microbiota // *Journal of Dairy Science*. 2021. Т. 104, №. 4. С. 3779-3788. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19466>
5. Bescos R., Brookes Z.L., Belfield L.A. et al. Modulation of oral microbiota: A new frontier in exercise supplementation // *PharmaNutrition*. 2020. Т. 14. С. 100230. <https://doi.org/10.1016/j.phanu.2020.100230>
6. Cerdá B., Pérez M., Pérez-Santiago J.D. et al. Gut Microbiota Modification: Another Piece in the Puzzle of the Benefits of Physical Exercise in Health? // *Frontiers in physiology*. 2016. Т. 7. С. 51. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00051>
7. Clemen C.S., Herrmann H., Strelkov S.V., Schröder R. Desminopathies: pathology and mechanisms // *Acta neuropathologica*. 2013. Т. 125, №. 1. С. 47-75. <https://doi.org/10.1007/s00401-012-1057-6>
8. Dort J., Fabre P., Molina T., Dumont N.A. Macrophages are key regulators of stem cells during skeletal muscle regeneration and diseases // *Stem Cells international*. 2019. Т. 2019. С. 1-20. <https://doi.org/10.1155/2019/4761427>

9. Gizard F., Fernandez A., De Vadder F. Interactions between gut microbiota and skeletal muscle // *Nutrition and Metabolic Insights*. 2020. T. 13. C. 1178638820980490. <https://doi.org/10.1177/1178638820980490>
10. González-Soltero R., Bailén M., de Lucas B. et al. Role of oral and gut microbiota in dietary nitrate metabolism and its impact on sports performance // *Nutrients*. 2020. T. 12, №. 12. C. 3611. <https://doi.org/10.3390/nu12123611>
11. Kulikova O., Brodehl A., Kiseleva A. et al. The desmin (*DES*) mutation p. A337P is associated with left-ventricular non-compaction cardiomyopathy // *Genes*. 2021. T. 12, №. 1. C. 121. <https://doi.org/10.3390/genes12010121>
12. Linsalata M., Riezzo G., D'Attoma B. et al. Noninvasive biomarkers of gut barrier function identify two subtypes of patients suffering from diarrhoea predominant-IBS: a case-control study // *BMC gastroenterology*. 2018. T. 18, №. 1. C. 1-14. <https://doi.org/10.1186/s12876-018-0888-6>
13. Osipov G., Verkhovtseva N. Study of human microecology by mass spectrometry of microbial markers // *Beneficial microbes*. 2011. T. 2, №. 1. C. 63-78. <https://doi.org/10.3920/BM2010.0017>
14. Osipov G.A., Boiko N.B., Fedosova N.F. et al. Comparative gas chromatography-mass spectrometry study of the composition of microbial chemical markers in feces // *Microbial Ecology in Health and Disease*. 2009. T. 21, №. 3-4. C. 159-171. <https://doi.org/10.3109/08910600903462657>
15. Pauls V.Yu. A review of clinical data of family form of myofibrillar desmin myopathy // *Systematic Reviews in Pharmacy*. 2019. T. 10, №. 2. C. 130-136. <https://doi.org/10.5530/srp.2019.2.21>
16. Pauls V.Yu. Change in redox status and biochemical parameters in patient with desminopathy T341P several years after disease symptoms onset // *Journal of Pharmaceutical Negative Results*. 2021. T. 12, №. 2. C. 24-28. <https://doi.org/10.47750/pnr.2021.12.02.004>
17. Pauls V.Yu. Dynamics of immune status in myofibrillar myopathy with the T341P *DES* mutation // *Systematic Reviews in Pharmacy*. 2020. T. 11, №. 9. C. 818-824. <https://doi.org/10.31838/srp.2020.9.116>
18. Peng X., Cheng L., You Y. et al. Oral microbiota in human systematic diseases // *International Journal of Oral Science*. 2022. T. 14, №. 1. C. 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41368-022-00163-7>
19. Przewłócka K., Folwarski M., Kaźmierczak-Siedlecka K. et al. Gut-muscle axis exists and may affect skeletal muscle adaptation to training // *Nutrients*. 2020. T. 12, №. 5. C. 1451. <https://doi.org/10.3390/nu12051451>
20. Ruppert T., Heckmann M.B., Rapti K. et al. AAV-mediated cardiac gene transfer of wild-type desmin in mouse models for recessive desminopathies // *Gene therapy*. 2020. T. 27, №. 10. C. 516-524. <https://doi.org/10.1038/s41434-020-0147-7>

21. Schröder R., Schoser B. Myofibrillar myopathies: a clinical and myopathological guide // Brain pathology. 2009. Т. 19, №. 3. С. 483-492. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3639.2009.00289.x>
22. Smits W.K., Lyras D., Lacy D.B. et al. Clostridium difficile infection // Nature reviews Disease primers. 2016. Т. 2, №. 1. С. 1-20. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2016.20>
23. Smolina N., Khudiakov A., Knyazeva A. et al. Desmin mutations result in mitochondrial dysfunction regardless of their aggregation properties // BBA-Molecular Basis of Disease. 2020. Т. 1866, №. 6. С. 165745. <https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2020.165745>
24. Spörrer M., Kah D., Gerum R.C. et al. The desmin mutation R349P increases contractility and fragility of stem cell-generated muscle micro-tissues // Neuropathology and Applied Neurobiology. 2022. Т. 48, №. 3. С. e12784. <https://doi.org/10.1111/nan.12784>
25. Thomas C., Minty M., Vinel A. et al. Oral microbiota: A major player in the diagnosis of systemic diseases // Diagnostics. 2021. Т. 11, №. 8. С. 1376. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11081376>
26. Yoo J.Y., Groer M., Dutra S.V.O. et al. Gut microbiota and immune system interactions // Microorganisms. 2020. Т. 8, №. 10. С. 1587. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8101587>

DATA ABOUT THE AUTHOR

Viacheslav Yu. Pauls, PhD, Ass. Prof. in Department of Technical Systems in the Agro-industrial Complex

Northern Trans-Ural State Agricultural University

7, Republiki Str., Tyumen, 625003, Russian Federation

paulsvy@gausz.ru

SPIN-code: 2286-2904

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6064-4671>

ResearcherID: B-9871-2019

Scopus Author ID: 16307733700

ДАнные ОБ АВТОРЕ

Паульс Вячеслав Юрьевич, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Технические системы в АПК»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный аграрный университет Северного Зауралья»

ул. Республики, 7, г. Тюмень, 625003, Российская Федерация.

paulsvy@gausz.ru

Поступила 10.10.2022

После рецензирования 08.11.2022

Принята 21.11.2022

Received 10.10.2022

Revised 08.11.2022

Accepted 21.11.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-284-302

УДК 616.89-008.454-06:616-008.9



Научная статья | Клиническая медицина

АФФЕКТИВНЫЕ РАССТРОЙСТВА У ЖЕНЩИН, ИМЕЮЩИХ ХРОНИЧЕСКУЮ ИШЕМИЧЕСКУЮ БОЛЕЗНЬ СЕРДЦА В СОЧЕТАНИИ С МЕТАБОЛИЧЕСКИМ СИНДРОМОМ

Р.А. Яскевич, О.Л. Москаленко

Цель. Изучение особенностей аффективных расстройств у женщин, при коморбидном течении хронической ишемической болезни сердца (ХИБС) с метаболическим синдромом (МС).

Материалы и методы. Исследование выполнено с участием 160 пациенток женского пола, имеющим диагноз ХИБС. Верификация МС осуществлялась с использованием клинических рекомендаций Всероссийского научного общества кардиологов (2009). Выявление наличия тревожно-депрессивных состояний и оценку степени их тяжести проводили, используя The Hospital Anxiety and Depression scale.

Результаты. Исследование показало, что у 50,9% обследуемых женщин, имеющих сочетание ХИБС и МС, были выявлены повышенные уровни тревоги. Тревожные расстройства, носившие субклинически выраженный характер, встречались у 31,1% обследованных этой группы, а клинически выраженный характер – у 19,6%. Повышенные уровни депрессии выявлены у 35,7% обследуемых пациенток с МС. депрессивные расстройства, носившие субклинически выраженный характер, встречались у 18,7% обследованных этой группы, а клинически выраженный характер – у 17,0%. Наиболее частым кластером МС в изучаемой группе женщин, как с повышенным уровнем тревоги, так и с повышенным уровнем депрессии был трехкомпонентный кластер МС – 47,4% и 42,5%.

Заключение. Среди пациенток с ХИБС при коморбидном течении с МС количество лиц, имеющих клинически выраженную тревогу и депрессию, в целом было выше в сравнении с лицами без МС. При этом количество пациенток с МС, имеющих клинически выраженную депрессию, было в два раза выше –

17,0% и 8,0%. Чаще в обеих группах встречался кластер МС, включающий сочетание АГ с АО и липидными нарушениями.

Ключевые слова: метаболический синдром; хроническая ишемическая болезнь сердца; тревога; депрессия

Для цитирования. Яскевич Р.А., Москаленко О.Л. Аффективные расстройства у женщин, имеющих хроническую ишемическую болезнь сердца в сочетании с метаболическим синдромом // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №2. С. 284-302. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-284-302

Original article | Clinical Medicine

AFFECTIVE DISORDERS IN WOMEN WITH ARTERIAL HYPERTENSION IN COMBINATION WITH METABOLIC SYNDROME

R.A. Yaskevich, O.L. Moskalenko

Purpose. To study the features of affective disorders in women with comorbid chronic ischemic heart disease with metabolic syndrome.

Materials and methods. The study was performed with the participation of 160 female patients diagnosed with chronic ischemic heart disease. Metabolic syndrome verification was carried out using the clinical recommendations of the All-Russian Scientific Society of Cardiology (2009). Identification of the presence of anxiety-depressive states and assessment of their severity was carried out using The Hospital Anxiety and Depression scale.

Results. The study showed that 50,9% of the surveyed women with a combination of chronic ischemic heart disease and metabolic syndrome had elevated levels of anxiety. Anxiety disorders of a subclinically pronounced nature were found in 31,1% of the surveyed in this group, and clinically pronounced in 19,6%. Elevated levels of depression were detected in 35,7% of the examined patients with metabolic syndrome. Depressive disorders, which were subclinically pronounced, were found in 18,7% of the examined in this group, and clinically pronounced in 17,0%. The most frequent cluster of metabolic syndrome in the studied group of women, both with an increased level of anxiety and with an increased level of depression, was a three-component cluster of metabolic syndrome – 47,4% and 42,5%.

Conclusion. Among patients with chronic ischemic heart disease with a comorbid course with metabolic syndrome, the number of people with clinically pro-

nounced anxiety and depression was generally higher in comparison with people without metabolic syndrome. At the same time, the number of patients with metabolic syndrome with clinically pronounced depression was twice as high – 17,0% and 8.0%. More often in both groups there was a cluster of metabolic syndrome, including a combination of hypertension with abdominal obesity and lipid disorders.

Keywords: *metabolic syndrome; chronic ischemic heart disease; anxiety; depression*

For citation. *Yaskevich R.A., Moskalenko O.L. Affective Disorders in Women with Arterial Hypertension in Combination with Metabolic Syndrome. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 284-302. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-284-302*

Введение

Аффективные расстройства являются важной проблемой современного здравоохранения [2, 3, 18, 31], затрагивающей примерно 3,6% (260 миллионов) населения во всем мире [20]. Результаты научных исследований, проведенных в последние годы, повысили степень доказанности взаимосвязи между тревожно-депрессивными расстройствами и хроническими неинфекционными заболеваниями [29], такими как артериальная гипертензия (АГ), инсульт, сахарный диабет (СД) [10, 11, 15, 16] и метаболический синдром (МС) [20, 28]. Было убедительно показано, что аффективные расстройства, такие как тревога и депрессия, значительно чаще встречаются при МС, чем в общей популяции, даже с поправкой на традиционные факторы риска указанных психопатологических состояний [23, 27, 30, 32, 33].

МС представляет собой группу факторов сердечно-сосудистого риска, таких как абдоминальное ожирение (АО), гипергликемия, высокое кровяное давление и дислипидемия, распространенность которых в мире составляет примерно 25% [26]. Помимо своей высокой распространенности среди населения экономически развитых стран, МС считается серьезной проблемой общественного здравоохранения из-за его сильной взаимосвязи с сердечно-сосудистыми заболеваниями и сахарным диабетом [25, 26], которые являются одними из основных причин заболеваемости и смертности во всем мире [34]. В связи с тем, что МС и аффективные расстройства создают существенные проблемы для общественного здравоохранения [2, 3, 31] в настоящее время внимание многих исследователей привлекает взаимосвязь между этими двумя состояниями [1, 5, 8, 9, 12, 27, 30, 33].

Имеющиеся клинические и экспериментальные данные убедительно показывают наличие множественных патофизиологических связей, объяс-

няющих высокую вероятность формирования МС у лиц с тревожно-депрессивными расстройствами [1, 5, 12, 22, 28, 30, 32]. Рядом исследователей отмечена двунаправленная ассоциация между МС и депрессивными состояниями [6, 30, 32]. С одной стороны, наличие депрессии предрасполагает к формированию МС у соматически здоровых пациентов, а с другой – лица с МС чаще страдают депрессией [28]. Потенциальные механизмы, которые могли бы объяснить связь между депрессией и риском развития МС, включают поведенческие, патофизиологические и генетические аспекты [7, 8, 9, 15, 31]. Лица с депрессией более восприимчивы к сохранению вредных привычек, таких как курение, малоподвижный образ жизни, высокое потребление продуктов с высокой энергетической плотностью и алкоголя [18, 24]. Таким образом, пациенты с уже диагностированным МС нуждаются, в свою очередь, в психологическом обследовании (скрининге) для выявления сопутствующих аффективных расстройств [28, 32].

Цель исследования

Изучение особенностей аффективных расстройств у женщин, при коморбидном течении хронической ишемической болезни сердца (ХИБС) с метаболическим синдромом (МС).

Материалы и методы

Исследование выполнено с участием 160 пациентов женского пола, находившихся на стационарном лечении в клинике НИИ медицинских проблем Севера г. Красноярск с диагнозом ХИБС. Основную группу составили пациентки с ХИБС в сочетании с МС – 130 человек (медиана возраста – 69,0 [62,0;75,0] лет). В группу сравнения вошли женщины с ХИБС, не имеющие МС – 30 человек (медиана возраста – 70,0 [64,0;75,0] лет) ($U=1841$; $Z=0,5$; $p=0,634$).

Проведенное исследование соответствовало этическим принципам Хельсинкской Декларации, касающихся медицинских исследований с участием человека в качестве их субъекта. Женщины с ХИБС, принявшие участие в данном исследовании, все давали письменное информированное согласие.

Диагноз ХИБС устанавливался при наличии соответствующих жалоб и анамнестических данных, результатов тредмил-теста или велоэргометрической пробы [3]. Верификация МС осуществлялась с использованием клинических рекомендаций Всероссийского научного общества кардиологов (ВНОК, 2009) [14]. Выявление наличия тревожно-депрессивных

состояний и оценку степени их тяжести проводили, используя The Hospital Anxiety and Depression scale – (HADS) [35].

Статистическая обработка осуществлялась при применении программы Statistica 6.0. от 31.03.2010 г. № EXXR202F256520FAN10. Нормальность распределения определялась для небольших выборок на основе критерия Shapiro-Wilk и для больших выборок на основе критерия Колмогорова-Смирнова с поправкой Lilliefors. Характеристика вариационных рядов для качественных признаков с непараметрическим распределением представлена в виде относительной частоты (%), для количественных признаков – медианой (Me) и межквартильным интервалом $[Q_1; Q_3]$. При парных сравнениях независимых выборок непараметрических данных применялся критерий Mann-Whitney (U-test). Критический уровень статистической значимости принимали при $p < 0,05$. Оценка сравнения бинарных качественных признаков проводилась с использованием критерия χ^2 (Chi-Square) Пирсона с учетом степеней свободы df.

Результаты и обсуждение

Исследование показало, что среди женщин с ХИБС, имеющих МС медиана усреднённого балла тревоги равнялась 8,0 [5,0;9,0] баллам, среди женщин без МС – 7,0 [5,0;10,0] баллам ($U=1392$; $Z=0,0$; $p=0,964$) соответственно. При изучении индивидуальной выраженности тревожных расстройств среди обследованных женщин с ХИБС было показано, что у 50,9% обследуемых пациенток, имеющих сочетание ХИБС и МС, были выявлены повышенные уровни тревоги. Тревожные расстройства, носившие субклинически выраженный характер, встречались у 31,1% обследованных этой группы, а клинически выраженный характер – у 19,6% (рис. 1).

У 44,0% обследуемых женщин, не имеющих сочетание ХИБС и МС, были выявлены повышенные уровни тревоги. Тревожные расстройства, имеющие субклинически выраженный характер, встречались у 24,0% обследованных этой группы, а клинически выраженный характер – у 20,0%.

Похожие закономерности были установлены ранее и в проведенном нами исследовании среди женщин с АГ, имеющих МС, где было показано, что у 48,3% женщин с МС отмечались повышенные уровни тревожности по шкале HADS в сравнении с пациентками без МС – 36,5% [17].

При сравнительном анализе пациенток с ХИБС, имеющих МС и без МС установлено, что среди женщин с МС частота тревоги в целом превы-

шла аналогичный показатель у женщин без МС: 50,9% vs 44,0% ($\chi^2=0,39$, $df=1$, $p=0,533$) (рис. 1). Однако полученные различия статистической значимости не имели. При этом количество женщин с МС, имеющих клинически выраженную тревогу, было практически равным в обеих группах: 19,6% vs 20,2% ($\chi^2=0,00$, $df=1$, $p=0,968$).

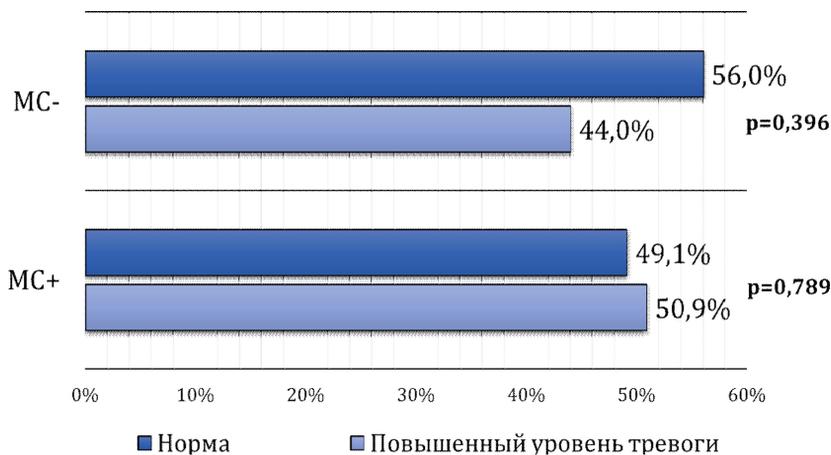


Рис. 1. Частота повышенного уровня тревоги у женщин с хронической ишемической болезнью сердца в зависимости от наличия метаболического синдрома

Среди женщин с ХИБС, имеющих МС медиана усреднённого балла депрессии равнялась 6,0 [3,0;9,0] баллам, среди женщин без МС – 6,0 [3,0;8,0] баллам ($U=1373$; $Z=-0,1$; $p=0,883$) соответственно. При изучении индивидуальной выраженности депрессивных расстройств среди обследованных пациенток с ХИБС было показано, что у 35,7% обследуемых пациенток, имеющих сочетание ХИБС и МС, были выявлены повышенные уровни депрессии. Тревожные расстройства, имеющие субклинически выраженный характер, встречались у 18,7% обследованных этой группы, а клинически выраженный характер – у 17,0% (рис. 2).

У пациенток, не имеющих МС, симптомы депрессии различной степени выраженности отмечались у 28,0%, при этом у 20,0% обследованных этой группы они носили субклинически выраженный характер, а клинически выраженный характер у 8,0%. Среди пациенток обеих групп значимо чаще встречались лица с уровнями депрессии, соответствующими норме (рис. 2).

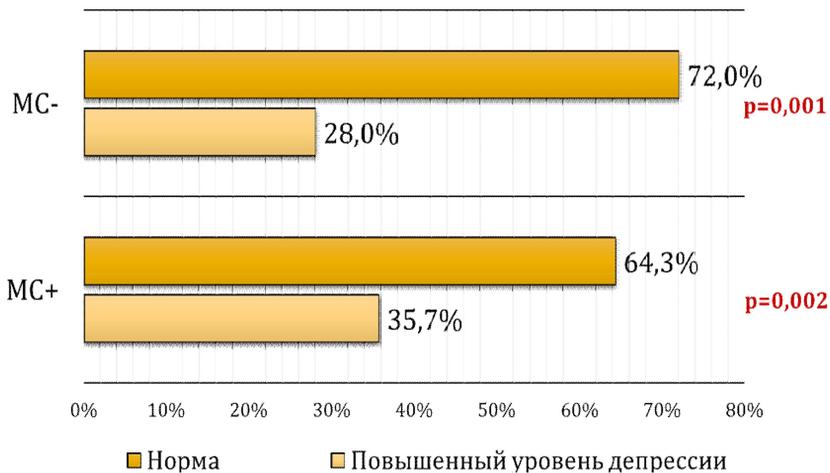


Рис. 2. Частота повышенного уровня депрессии у женщин с хронической ишемической болезнью сердца в зависимости от наличия метаболического синдрома

При сравнении женщин с МС и без МС установлено, что среди пациенток с МС частота депрессии в целом превышала аналогичный показатель у женщин без МС: 35,7% vs 28,0% ($\chi^2=0,54$, $df=1$, $p=0,463$). При этом количество женщин с МС, имеющих клинически выраженную депрессию, было в два раза выше: 17,0% vs 8,0% ($\chi^2=1,27$, $df=1$, $p=0,261$). Полученные различия статистической значимости не имели.

Установлено, что в ходе проведенного исследования была выявлена высокая частота тревоги (50,9%) и депрессии (35,7%) среди женщин с ХИБС, имеющих МС, что согласуется с полученными ранее данными исследований, проведенных как за рубежом, так и в России, где было убедительно показано, что аффективные расстройства значительно чаще встречаются у пациентов с МС по сравнению с общей популяцией [5, 6, 12, 18, 23, 30].

Далее был проведен анализ зависимости показателей тревоги и депрессии от количества компонентов МС (рис. 3-4).

Было установлено, что самым частым кластером МС среди пациенток с ХИБС с повышенным уровнем тревоги был трехкомпонентный кластер – 47,4% (рис. 3). Среди женщин, имеющих повышенный уровень тревоги, частота 3-х компонентного кластера МС имела тенденцию к более высоким значениям в сравнении с женщинами с нормальными показателями тревоги: 47,4% vs 38,2% ($\chi^2=0,06$, $df=1$, $p=0,812$).

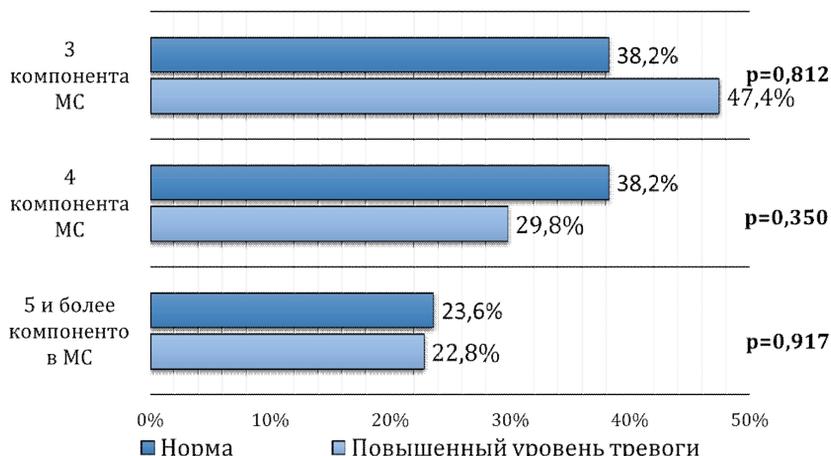


Рис. 3. Частота трех, четырех и пяти компонентных кластеров МС у женщин с хронической ишемической болезнью сердца в зависимости от уровня тревоги

Количественный анализ компонентов МС у женщин в зависимости от уровня депрессии показал, что среди пациенток, имеющих повышенный уровень депрессии, несколько чаще встречались 3-х и 4-х компонентные кластеры МС: 42,5% vs 41,3% ($\chi^2=0,00$, $df=1$, $p=0,955$) и 37,5% vs 31,9% ($\chi^2=0,35$, $df=1$, $p=0,552$) (рис. 4). Выявленные различия статистической значимости не имели.

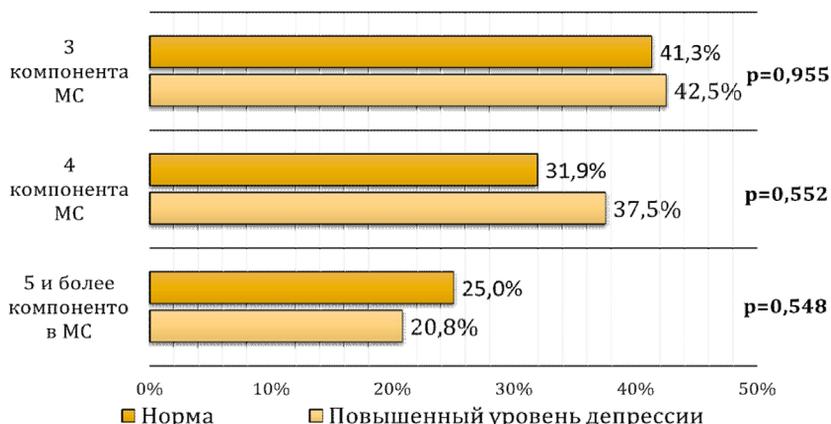


Рис. 4. Частота трех, четырех и пяти компонентных кластеров МС у женщин с хронической ишемической болезнью сердца в зависимости от уровня депрессии

Среди обследованных женщин с ХИБС, имеющих повышенные уровни тревоги наиболее часто на уровне тенденций встречался кластер МС, включающий в себя сочетание артериальной гипертензии (АГ), абдоминального ожирения (АО) и липидных нарушений, с высокими значениями холестерина липопротеинов низкой плотности (гиперХС ЛПНП): 29,8% vs 23,6% ($\chi^2=0,55$, $df=1$, $p=0,460$) соответственно (рис. 5).

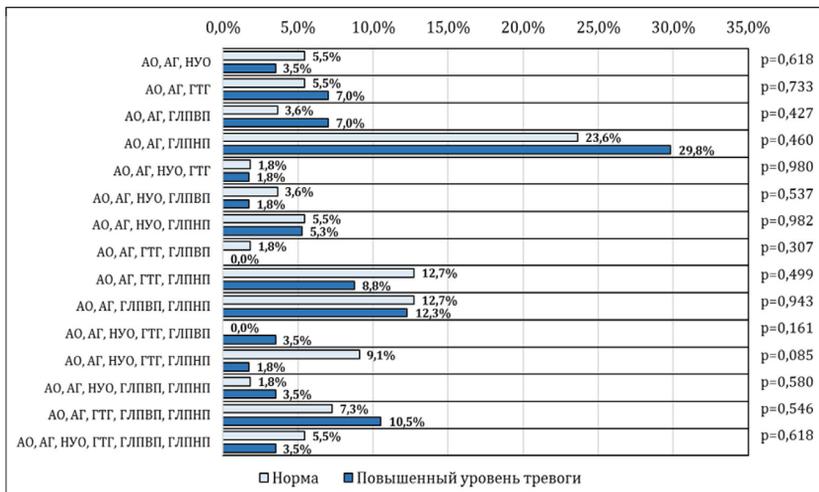


Рис. 5. Частота сочетаний компонентов метаболического синдрома у женщин с хронической ишемической болезнью сердца в зависимости от уровня тревоги

Примечание: АО – абдоминальное ожирение; АГ – артериальная гипертензия; НУО – нарушения углеводного обмена; ГТГ – гипертриглицеридемия; ГЛПВП – низкий уровень липопротеинов высокой плотности; ГЛПНП – высокий уровень липопротеинов низкой плотности.

Следующим по частоте после кластера МС с вышеперечисленными компонентами среди обследуемых женщин был кластер, состоящий из 4-х компонентов: АГ, АО, гиперХС ЛПНП и липидных нарушений, характеризующихся низкими значениями ХС ЛПВП (гипоХС ЛПВП): у женщин с повышенным уровнем тревоги – 12,3% и с нормальными показателями – 12,7% ($\chi^2=0,01$, $df=1$, $p=0,943$) (рис. 5).

Среди обследованных женщин с АГ как с повышенным уровнем депрессии, так и с нормальными её показателями наиболее часто на уровне тенденций встречался кластер МС, включающий в себя сочетание АО, АГ и гиперХС ЛПНП, частота которого в этих группах составила: у женщин

с повышенным уровнем депрессии – 30,0% и с нормальными показателями – 25,0% ($\chi^2=0,33$, $df=1$, $p=0,567$) соответственно (рис. 6).

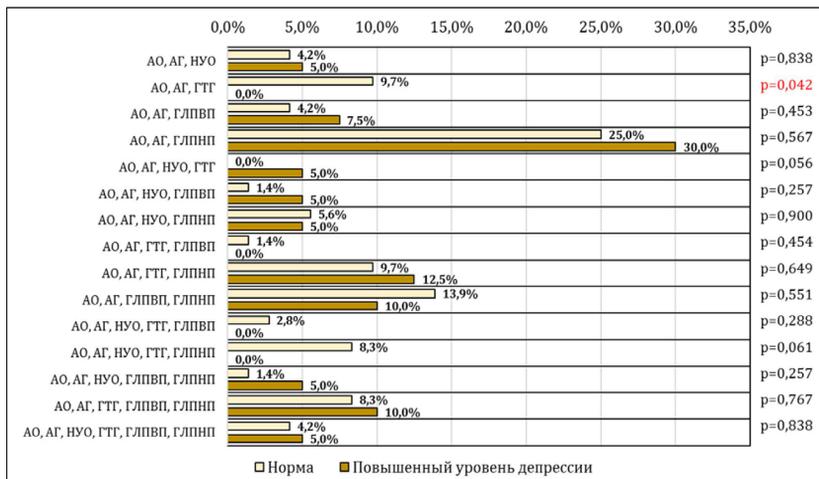


Рис. 6. Частота сочетаний компонентов метаболического синдрома у женщин с хронической ишемической болезнью сердца в зависимости от уровня депрессии

Примечание: АО – абдоминальное ожирение; АГ – артериальная гипертония; НУО – нарушения углеводного обмена; ГТГ – гипертриглицеридемия; ГЛПВП – низкий уровень липопротеинов высокой плотности; ГЛПНП – высокий уровень липопротеинов низкой плотности.

Вторым по частоте после кластера МС с вышеперечисленными компонентами среди обследуемых женщин был кластер, состоящий из 4 компонентов: АО, АГ, гиперХС ЛПНП и гипертриглицеридемии (ГТГ): у женщин с повышенным уровнем тревоги – 12,5% и с нормальными показателями – 9,7% ($\chi^2=0,21$, $df=1$, $p=0,649$) соответственно. При этом следует отметить, что в отличие от показателей тревоги по показателям депрессии по частоте 3-х компонентного кластера МС (АО, АГ и ГТГ) между обследуемыми группами отмечались статистически значимые различия ($\chi^2=4,15$, $df=1$, $p=0,042$) (рис. 6).

В заключении следует отметить, что в обеих группах, независимо от наличия или отсутствия тревожно-депрессивных состояний, чаще выявлялся кластер МС, включающий АГ, АО и гиперХС ЛПНП. Похожие закономерности были отмечены в упомянутом выше исследовании, где было показано, что среди обследованных женщин с АГ как с повышенным уровнем

нем депрессии, так и с нормальными её показателями наиболее часто на уровне тенденции встречался кластер МС, включающий сочетание АО с АГ и липидными нарушениями по типу гиперХС ЛПНП [17].

Выводы

Установлено, что у женщин с ХИБС, имеющих МС, частота тревожно-депрессивных расстройств в целом превышала аналогичный показатель у женщин без МС. При этом количество лиц с МС, имеющих клинически выраженную депрессию, было в два раза выше – 17,0% и 8,0%. Наиболее частым кластером МС в изучаемой группе женщин как с повышенным уровнем тревоги, так и с повышенным уровнем депрессии был трехкомпонентный – 47,4% и 42,5%. Чаще в обеих группах встречался кластер МС, включающий сочетание АО с АГ и липидными нарушениями.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Алексеева Н. С., Салмина-Хвостова О. И. Аффективные расстройства у пациентов с метаболическим синдромом // Acta Biomedica Scientifica. 2014. №5 (99). С. 9-12.
2. Ахмеджанов Н. М., Бутрова С. А., Дедов И. И. и др. Консенсус российских экспертов по проблеме метаболического синдрома в Российской Федерации: определение, диагностические критерии, первичная профилактика, лечение // Рациональная Фармакотерапия в Кардиологии. 2010. Т. 6, № 4. С. 5-12.
3. Барбараш О. Л., Карпов Ю. А., Кашталап В. В. и др. Стабильная ишемическая болезнь сердца. Клинические рекомендации 2020 // Российский кардиологический журнал. 2020. Т. 25, № 11. С. 4076. <https://doi.org/10.15829/29/1560-4071-2020-4076>
4. Гринштейн Ю. И., Шабалин В. В., Руф Р. Р., Шальнова С. А. Распространенность метаболического синдрома в популяции Красноярского края и особенности его ассоциации с гиперурикемией // Российский кардиологический журнал. 2020. Т. 25, № 6. С. 55-60. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-3852>
5. Джериева И. С., Волкова Н. И., Рапопорт С. И. Ассоциация между депрессией и метаболическим синдромом // Клиническая медицина. 2015. Т. 93. № 1. С. 62-65.

6. Донцов А. В. Гендерные особенности тревожно-депрессивных расстройств при метаболическом синдроме // Врач. 2014. № 2. С. 72-74.
7. Москаленко О. Л., Смирнова О. В., Каспаров Э. В., Зайцева О. И. Диагностика метаболического синдрома на современном этапе // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2019. Т. 11, № 5. С. 94-100. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2019-11-5-94-100>
8. Москаленко О. Л., Смирнова О. В., Каспаров Э. В., Каспарова И. Э. Структура психологических расстройств больных с метаболическим синдромом и неалкогольной жировой болезнью печени // Russian Journal of Education and Psychology. 2021. Т. 12, № 4-2. С. 340-348. <https://doi.org/10.12731/2658-4034-2021-12-4-2-340-348>
9. Москаленко О. Л., Смирнова О. В., Терещенко С. Ю., Каспаров Э. В. Тревожно-депрессивные расстройства у пациентов с метаболическим синдромом // Russian Journal of Education and Psychology. 2021. Т. 12, № 4. С. 118-137. <https://doi.org/10.12731/2658-4034-2021-12-4-118-137>
10. Москаленко О. Л., Яскевич Р. А. Тревожно-депрессивные расстройства у жителей Крайнего Севера и Сибири // Russian Journal of Education and Psychology. 2021. Т. 12. № 3-2. С. 113-119. <https://doi.org/10.12731/2658-4034-2021-12-3-2-113-119>
11. Москаленко О.Л., Яскевич Р.А. Тревожно-депрессивные расстройства у пациентов с артериальной гипертонией (обзор литературы) // Russian Journal of Education and Psychology. 2021. Т. 12, № 1-2. С. 185-190. <https://doi.org/10.12731/2658-4034-2021-12-1-2-185-190>
12. Песковец Р. Д., Штарик С. Ю., Евсюков А. А. Коморбидность аффективных расстройств и метаболического синдрома среди взрослого населения города Красноярска // Сибирский медицинский журнал (г. Томск). 2016. Т. 31, № 4. С. 65-68.
13. Ротарь О. П., Либис Р. А., Исаева Е. Н. и др. Распространенность метаболического синдрома в разных городах РФ // Российский кардиологический журнал. 2012. Т. 17, № 2. С. 55-62.
14. Чазова И. Е., Мычка В. Б., Литвин А. Ю. и др. Диагностика и лечение метаболического синдрома. Российские рекомендации (второй пересмотр) // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2009. Т. 8, № 6 (S2). С. 1-29.
15. Яскевич Р. А., Каспаров Э. В., Гоголашвили Н. Г. Влияние северного стажа на частоту метаболического синдрома и его компонентов у мигрантов Крайнего Севера после переезда в новые климатикогеографические условия проживания // Якутский медицинский журнал. 2021. № 3 (75). С. 80-84. <https://doi.org/10.25789/УМЖ.2021.75.21>

16. Яскевич Р. А., Кочергина К. Н., Каспаров Э. В. Влияние выраженности тревожно-депрессивных расстройств на качество жизни больных артериальной гипертензией // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2019. Т. 11, № 5-2. С. 146-151. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2019-11-5-2-146-151>
17. Яскевич Р. А., Москаленок О.Л. Аффективные расстройства у женщин, имеющих артериальную гипертензию в сочетании с метаболическим синдромом // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022. Т. 14, № 3. С. 267-286. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-267-286>
18. Baxter A., Scott K., Vos T., Whiteford H. Global prevalence of anxiety disorders: A systematic review and meta-regression // *Psychological Medicine*. 2013. Vol. 43, № 5. P. 897-910. <https://doi.org/10.1017/S003329171200147X>
19. Boschloo L., Reeuwijk K. G., Schoevers R. A., W. J. H. Penninx B. The impact of lifestyle factors on the 2-year course of depressive and/or anxiety disorders // *J. Affect. Disord.* 2014. Vol. 159. P. 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2014.01.019>
20. Depression and Other Common Mental Disorders. Global Health Estimates. Geneva : World Health Organization, 2017. 24 p.
21. Hiles S.A., Révész D., Lamers F. et al. Bidirectional prospective associations of metabolic syndrome components with depression, anxiety, and antidepressant use // *Depress. Anxiety*. 2016. Vol. 33. P. 754-764. <https://doi.org/10.1002/da.22512>
22. Kim B., Park E. Y. The combined effect of socioeconomic status and metabolic syndrome on depression: the Korean National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES) // *BMC Public Health*. 2020. Vol. 4, № 20(1). P. 617. <https://doi.org/10.1186/s12889-020-08778-3>
23. Limon V. M., Lee M., Gonzalez B. et al. The impact of metabolic syndrome on mental health-related quality of life and depressive symptoms // *Qual. Life. Res.* 2020. Vol. 29, № 8. P. 2063-2072. <https://doi.org/10.1007/s11136-020-02479-5>
24. Lopresti A. L., Hood S. D., Drummond P. D. A review of lifestyle factors that contribute to important pathways associated with major depression: diet, sleep and exercise // *J. Affect. Disord.* 2013. Vol. 148. P. 12-27. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2013.01.014>
25. Mattei G., Padula M. S., Rioli G. et al. Metabolic Syndrome, Anxiety and Depression in a Sample of Italian Primary Care Patients // *J. Nerv. Ment. Dis.* 2018 Vol. 206, № 5. P. 316-324. <https://doi.org/10.1097/NMD.0000000000000807>
26. O'Neill S., O'Driscoll L. Metabolic syndrome: a closer look at the growing epidemic and its associated pathologies // *Obes. Rev.* 2015. Vol. 16. P. 1-12. <https://doi.org/10.1111/obr.12229>

27. Ortiz M. S., Sapunar J. Estrés psicológico y síndrome metabólico [Longitudinal association between chronic psychological stress and metabolic syndrome] // *Rev. Med. Chil.* 2018. Vol. 146, № 11. P. 1278-1285. Spanish. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872018001101278>
28. Pan A., Keum N., Okereke O. I. et al. Bidirectional Association Between Depression and Metabolic Syndrome: A systematic review and meta-analysis of epidemiological studies // *Diabetes Care.* 2012. Vol. 35, № 5. P. 1171-1180. <https://doi.org/10.2337/dc11-2055>
29. Pimenta A. M., Lahortiga-Ramos F., Sayon-Orea C. et al. Depression and metabolic syndrome in participants of the “Seguimiento Universidad de Navarra” (SUN) cohort study // *J Affect Disord.* 2021. Vol. 1, № 284. P. 183-189. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2021.02.002>
30. Rhee S.J., Kim E.Y., Kim S.H. et al. Subjective depressive symptoms and metabolic syndrome among the general population // *Prog. Neuropsychopharmacol. Biol. Psychiatry.* 2014. Vol. 3, № 54. P. 223-230. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2014.06.006>
31. Saklayen M. G. The Global Epidemic of the Metabolic Syndrome // *Curr Hypertens Rep.* 2018. Vol. 20, № 2. P. 12. <https://doi.org/10.1007/s11906-018-0812-z>
32. Tang F., Wang G., Lian Y. Association between anxiety and metabolic syndrome: A systematic review and meta-analysis of epidemiological studies // *Psychoneuroendocrinology.* 2017. Vol. 77. P. 112-121. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2016.11.025>
33. Wiltink J., Michal M., Jünger C. et al. Associations between degree and sub-dimensions of depression and metabolic syndrome (MetS) in the community: results from the Gutenberg Health Study (GHS) // *BMC Psychiatry.* 2018. Vol. 18, № 1. P. 114. <https://doi.org/10.1186/s12888-018-1691-1>
34. World health statistics 2018: monitoring health for the SDGs, Sustainable Development Goals. Geneva: WHO, 2018. 86 p.
35. Zigmond A. S. The Hospital Anxiety and Depression scale // *Acta Psychiatr. Scand.* 1983. P. 361-370. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0447.1983.tb09716.x>

References

1. Alekseeva N.S., Salmina-Khvestova O.I. Affektivnye rasstroystva u patsientov s metabolicheskim sindromom [Affective disorders in patients with metabolic syndrome]. *Acta Biomedica Scientifica*, 2014, no. 5 (99), pp. 9-12.
2. Akhmedzhanov N.M., Butrova S.A., Dedov I.I. et al. Konsensus rossiyskikh ekspertov po probleme metabolicheskogo sindroma v Rossiyskoy Federatsii: opredelenie, diagnosticheskie kriterii, pervichnaya profilaktika, lechenie [Con-

- sensus of Russian experts on the problem of metabolic syndrome in the Russian Federation: definition, diagnostic criteria, primary prevention, treatment]. *Ratsional'naya Farmakoterapiya v Kardiologii* [Rational Pharmacotherapy in Cardiology], 2010, vol. 6, pp. 4, pp. 5-12.
3. Barbarash O. L., Karpov Yu. A., Kashtalov V. V. et al. Stabil'naya ishemi-cheskaya bolezn' serdtsa. Klinicheskie rekomendatsii 2020 [Stable coronary heart disease. Clinical guidelines 2020]. *Rossiyskiy kardiologicheskiy zhurnal* [Russian Journal of Cardiology], 2020, vol. 25, no. 11, 4076. <https://doi.org/10.15829/29/1560-4071-2020-4076>
 4. Grinshteyn Yu.I., Shabalin V.V., Ruf R.R., Shal'nova S. A. Rasprostranennost' metabolicheskogo sindroma v populyatsii Krasnoyarskogo kraya i osobennosti ego assotsiatsii s giperurikemiy [The prevalence of metabolic syndrome in the population of the Krasnoyarsk Territory and the features of its association with hyperuricemia]. *Rossiyskiy kardiologicheskiy zhurnal* [Russian Journal of Cardiology]. 2020. T. 25. № 6. S. 55-60. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-3852>
 5. Dzhierieva I.S., Volkova N. I., Rapoport S.I. Assotsiatsiya mezhdru depressiy i metabolicheskim sindromom [Association between depression and metabolic syndrome]. *Klinicheskaya meditsina* [Clinical Medicine], 2015, vol. 93, no. 1, pp. 62-65.
 6. Dontsov A.V. Gendernye osobennosti trevozhno-depressivnykh rasstroystv pri metabolicheskom sindrome [Gender characteristics of anxiety and depressive disorders in metabolic syndrome]. *Vrach*, 2014, no. 2, pp. 72-74.
 7. Moskalenko O.L., Smirnova O.V., Kasparov E.V., Zaytseva O.I. Diagnostika metabolicheskogo sindroma na sovremennom etape [Diagnostics of the metabolic syndrome at the present stage]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2019, vol. 11, no. 5, pp. 94-100. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2019-11-5-94-100>
 8. Moskalenko O. L., Smirnova O. V., Kasparov E. V., Kasparova I. E. Struktura psikhologicheskikh rasstroystv bol'nykh s metabolicheskim sindromom i nealkogol'noy zhirovoy bolezn'yu pecheni [The structure of psychological disorders in patients with metabolic syndrome and non-alcoholic fatty liver disease]. *Russian Journal of Education and Psychology*, 2021, vol. 12, no. 4-2, pp. 340-348. <https://doi.org/10.12731/2658-4034-2021-12-4-2-340-348>
 9. Moskalenko O.L., Smirnova O.V., Tereshchenko S.Yu., Kasparov E.V. Trevozhno-depressivnye rasstroystva u patsientov s metabolicheskim sindromom [Anxiety and depressive disorders in patients with metabolic syndrome]. *Russian Journal of Education and Psychology*, 2021, vol. 12, no. 4, pp. 118-137. <https://doi.org/10.12731/2658-4034-2021-12-4-118-137>

10. Moskalenko O.L., Yaskevich R.A. Trevozhno-depressivnye rasstroystva u zhitel'ey Kraynego Severa i Sibiri [Anxiety and depressive disorders in residents of the Far North and Siberia]. *Russian Journal of Education and Psychology*, 2021, vol. 12, no. 3-2, pp. 113-119. <https://doi.org/10.12731/2658-4034-2021-12-3-2-113-119>
11. Moskalenko O.L., Yaskevich R.A. Trevozhno-depressivnye rasstroystva u patients s arterial'noy gipertoniey (obzor literatury) [Anxiety and depressive disorders in patients with arterial hypertension (literature review)]. *Russian Journal of Education and Psychology*, 2021, vol. 12, no. 1-2, pp. 185-190. <https://doi.org/10.12731/2658-4034-2021-12-1-2-185-190>
12. Peskovets R. D., Shtarik S. Yu., Evsyukov A. A. Komorbidnost' affektivnykh rasstroystv i metabolicheskogo sindroma sredi vzroslogo naseleniya goroda Krasnoyarska [Comorbidity of affective disorders and metabolic syndrome among the adult population of the city of Krasnoyarsk]. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal (g. Tomsk)* [Siberian Medical Journal (Tomsk)], 2016, vol. 31, no. 4, pp. 65-68.
13. Rotar' O.P., Libis R.A., Isaeva E.N. et al. Rasprostranennost' metabolicheskogo sindroma v raznykh gorodakh RF [The prevalence of metabolic syndrome in different cities of the Russian Federation]. *Rossiyskiy kardiologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Cardiology], 2012, vol. 17, no. 2, pp. 55-62.
14. Chazova I.E., Mychka V.B., Litvin A.Yu. et al. Diagnostika i lechenie metabolicheskogo sindroma. Rossiyskie rekomendatsii (vtoroy peresmotr) [Diagnosis and treatment of metabolic syndrome. Russian recommendations (second revision)]. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika* [Cardiovascular therapy and prevention], 2009, vol. 8, no. 6 (S2), pp. 1-29.
15. Yaskevich R.A., Kasparov E.V., Gogolashvili N.G. Vliyanie severnogo stazha na chastotu metabolicheskogo sindroma i ego komponentov u migrantov Kraynego Severa posle perezda v novye klimatogeograficheskie usloviya prozhivaniya [Influence of northern experience on the frequency of metabolic syndrome and its components in migrants of the Far North after moving to new climatic and geographical conditions of residence]. *Yakutskiy meditsinskiy zhurnal* [Yakut medical journal], 2021, no. 3(75), pp. 80-84. <https://doi.org/10.25789/ymj.2021.75.21>
16. Yaskevich R.A., Kochergina K.N., Kasparov E.V. Vliyanie vyrazhennosti trevozhno-depressivnykh rasstroystv na kachestvo zhizni bol'nykh arterial'noy gipertoniey [Influence of the severity of anxiety and depressive disorders on the quality of life of patients with arterial hypertension]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2019, vol. 11, no. 5-2, pp. 146-151. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2019-11-5-2-146-151>

17. Yaskevich R. A., Moskalenko O. L. Affektivnye rasstroystva u zhenshchin, imeyushchikh arterial'nyu gipertoniyu v sochetanii s metabolicheskim sindromom [Affective disorders in women with arterial hypertension in combination with metabolic syndrome]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 3, pp. 267-286. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-267-286>
18. Baxter A., Scott K., Vos T., Whiteford H. Global prevalence of anxiety disorders: A systematic review and meta-regression. *Psychological Medicine*, 2013, vol. 43, no. 5, pp. 897-910. <https://doi.org/10.1017/S003329171200147X>
19. Boschloo L., Reeuwijk K. G., Schoevers R. A., W. J. H. Penninx B. The impact of lifestyle factors on the 2-year course of depressive and/or anxiety disorders. *J. Affect. Disord.*, 2014, vol. 159, pp. 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2014.01.019>
20. Depression and Other Common Mental Disorders. Global Health Estimates. Geneva : World Health Organization, 2017. 24 p.
21. Hiles S.A., Révész D., Lamers F. et al. Bidirectional prospective associations of metabolic syndrome components with depression, anxiety, and antidepressant use. *Depress. Anxiety.*, 2016, vol. 33, pp. 754-764. <https://doi.org/10.1002/da.22512>
22. Kim B., Park E. Y. The combined effect of socioeconomic status and metabolic syndrome on depression: the Korean National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES). *BMC Public Health*, 2020, vol. 4, no. 20(1), pp. 617. <https://doi.org/10.1186/s12889-020-08778-3>
23. Limon V. M., Lee M., Gonzalez B. et al. The impact of metabolic syndrome on mental health-related quality of life and depressive symptoms. *Qual. Life. Res.*, 2020, vol. 29, no. 8, pp. 2063-2072. <https://doi.org/10.1007/s11136-020-02479-5>
24. Lopresti A. L., Hood S. D., Drummond P. D. A review of lifestyle factors that contribute to important pathways associated with major depression: diet, sleep and exercise. *J. Affect. Disord.*, 2013, vol. 148, pp. 12-27. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2013.01.014>
25. Mattei G., Padula M. S., Rioli G. et al. Metabolic Syndrome, Anxiety and Depression in a Sample of Italian Primary Care Patients. *J. Nerv. Ment. Dis.*, 2018, vol. 206, no. 5, pp. 316-324. <https://doi.org/10.1097/NMD.0000000000000807>
26. O'Neill S., O'Driscoll L. Metabolic syndrome: a closer look at the growing epidemic and its associated pathologies. *Obes. Rev.*, 2015, vol. 16, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1111/obr.12229>
27. Ortiz M. S., Sapunar J. Estrés psicológico y síndrome metabólico [Longitudinal association between chronic psychological stress and metabolic syndrome].

- Rev. Med. Chil.*, 2018, vol. 146, no. 11, pp. 1278-1285. Spanish. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872018001101278>.
28. Pan A., Keum N., Okereke O. I. et al. Bidirectional Association Between Depression and Metabolic Syndrome: A systematic review and meta-analysis of epidemiological studies. *Diabetes Care*, 2012, vol. 35, no. 5, pp. 1171-1180. <https://doi.org/10.2337/dc11-2055>
 29. Pimenta A. M., Lahortiga-Ramos F., Sayon-Orea C. et al. Depression and metabolic syndrome in participants of the “Seguimiento Universidad de Navarra” (SUN) cohort study. *J. Affect Disord.*, 2021, vol. 1, no. 284, pp. 183-189. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2021.02.002>
 30. Rhee S.J., Kim E.Y., Kim S.H. et al. Subjective depressive symptoms and metabolic syndrome among the general population. *Prog. Neuropsychopharmacol. Biol. Psychiatry*, 2014, vol. 3, no. 54, pp. 223-230. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2014.06.006>
 31. Saklayen M. G. The Global Epidemic of the Metabolic Syndrome. *Curr Hypertens Rep.*, 2018, vol. 20, no. 2, p. 12. <https://doi.org/10.1007/s11906-018-0812-z>
 32. Tang F., Wang G., Lian Y. Association between anxiety and metabolic syndrome: A systematic review and meta-analysis of epidemiological studies. *Psychoneuroendocrinology*, 2017, vol. 77, pp. 112-121. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2016.11.025>
 33. Wiltink J., Michal M., Jünger C. et al. Associations between degree and sub-dimensions of depression and metabolic syndrome (MetS) in the community: results from the Gutenberg Health Study (GHS). *BMC Psychiatry*, 2018, vol. 18, no. 1, p. 114. <https://doi.org/10.1186/s12888-018-1691-1>
 34. World health statistics 2018: monitoring health for the SDGs, Sustainable Development Goals. Geneva: WHO, 2018. 86 p.
 35. Zigmond A. S. The Hospital Anxiety and Depression scale. *Acta Psychiatr. Scand.*, 1983, pp. 361-370. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0447.1983.tb09716.x>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Яскевич Роман Анатольевич, ведущий научный сотрудник группы патологии сердечно-сосудистой системы, доцент кафедры пропедевтики внутренних болезней и терапии, доктор медицинских наук, доцент *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт медицинских проблем Севера» ул. Партизана Железняка, 3г, г. Красноярск, 660022, Российская Федерация*
cardio@impn.ru

Москаленко Ольга Леонидовна старший научный сотрудник, кандидат биологических наук
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт медицинских проблем Севера»
ул. Партизана Железняка, 3г, г. Красноярск, 660022, Российская Федерация
gre-ll@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Roman A. Yaskovich, leading researcher of the group pathology of the cardiovascular system, associate professor at department of propedeutics of internal diseases and therapy, doctor of medical science, docent
Federal State Budgetary Scientific Institution «Scientific Research Institute of medical problems of the North»
3g, P. Zheleznyaka Str., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation
cardio@imprn.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4033-3697>
Scopus Author ID: 56335744200
Researcher ID: E-2876-2018

Olga L. Moskalenko, Senior Researcher, Candidate of Biological Sciences
Federal State Budgetary Scientific Institution «Scientific Research Institute of medical problems of the North»
3g, P. Zheleznyaka Str., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation
gre-ll@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4268-6568>
Scopus Author ID: 57221448825
Researcher ID: H-4076-2017

Поступила 04.10.2022

После рецензирования 07.11.2022

Принята 21.11.2022

Received 04.10.2022

Revised 07.11.2022

Accepted 21.11.2022

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ И СООБЩЕНИЯ

SCIENTIFIC REVIEWS AND REPORTS

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-303-336

UDC 633.11:632.4.01/.08



Scientific review

**IMPACTS OF CLIMATE CHANGE,
FORMS, AND EXCESS OF NITROGEN FERTILIZERS
ON THE DEVELOPMENT OF WHEAT
FUNGAL DISEASES**

*S. Diakite, E.N. Pakina, A. Behzad, M. Zargar, F.S. Saquee,
E.V. Kalabashkina, V.A. Tsymbalova, T.S. Astarkhanova*

Background. *Global climate change and excessive nitrogen application has become a significant issue and inevitably threatens sustainable wheat production, not only with direct negative effects on crop growth but also with profound impacts on biology and pest and disease management.*

Purpose. *This review addresses the current challenges, namely the negative effects of climate change and the forms and excess of nitrogen-rich fertilizers on the development of fungal diseases in wheat, as well as management strategies.*

Materials and methods. *To achieve the stated objective of the study, the scientific literature published during the last 20 years on the impacts of climate change and the forms and excesses of nitrogen fertilizers on the development of fungal diseases and on the yield of wheat were reviewed.*

Results. *Thus, in mitigating these challenges, it is necessary to optimize the dose of nitrogen fertilizers, apply nitrogen in the form of nitrate, ammonium sulphate, ammonium nitrate, and coated urea fertilizers, to use silicate fertilizers such as calcium, magnesium, and potassium silicate, and to perform a long rotation of wheat through perennial legumes and leguminous crops, as well as to develop, through genome editing, varieties with high yield potential, resistant to biotic and abiotic stresses, and of good end-use quality, or plant new cereals that have needs for heat and a longer reproductive growth period.*

Conclusion. *To develop an effective agricultural management strategy, future research should be based on the study of the interactions among crops, pests, pathogens and farming system under climate change, taking into account all parameters such as temperature increase and CO₂, extreme precipitation, etc. A sufficient number of results must be published to be able to draw meaningful conclusions.*

Keywords: *challenges; fungal diseases; wheat; nitrogen fertilizers; climate change*

For citation. *Diakite S., Pakina E.N., Behzad A., Zargar M., Saquee F.S., Kalabashkina E.V., Tsybalova V.A., Astarkhanova T.S. Impacts of Climate Change, Forms, and Excess of Nitrogen Fertilizers on the Development of Wheat Fungal Diseases. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 303-336. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-303-336*

Обзорная статья

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА, ФОРМЫ И ИЗБЫТКА АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ НА РАЗВИТИЕ ГРИБКОВЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПШЕНИЦЫ

**С. Диаките, Е.Н. Пакина, А. Бехзад, М. Заргар, Ф.С. Саки,
Е.В. Калабашикина, В.А. Цымбалова, Т.С. Астарханова**

Обоснование. *Глобальное изменение климата и чрезмерное применение азота стали серьезной проблемой и неизбежно угрожают устойчивому производству пшеницы не только с прямым негативным воздействием на рост культур, но и с серьезным воздействием на биологию и борьбу с вредителями и болезнями.*

Цель. *В этом обзоре рассматриваются две текущие проблемы, а именно негативное влияние изменения климата и формы и избытка богатых азотом удобрений на развитие грибковых заболеваний пшеницы, а также стратегии управления.*

Материалы и методы. *Для достижения заявленной цели исследования было проведено изучение опубликованной научной литературы за последние 20 лет о влиянии изменения климата, формы и избытка азотных удобрений на развитие грибковых болезней и на урожайность пшеницы.*

Результаты. *Таким образом, для решения этих текущих проблем необходимо оптимизировать дозу азотных удобрений, вносить азот в виде селитры, сульфата аммония, аммиачной селитры и карбамидных удобрений в оболочке, использовать силикатные удобрения, такие как силикат кальция, магния и*

калия, а также осуществлять длительный севооборот пшеницы с многолетними бобовыми травами и зернобобовыми культурами. Вывести путем редактирования генома сорта с высоким потенциалом урожайности, устойчивые к биотическим и абиотическим стрессам и хорошего качества для конечного использования, или возделывать новые зерновые, которые нуждаются в тепле и имеют более длительный период репродуктивного роста.

Заключение. Чтобы разработать эффективную стратегию управления сельскохозяйственным производством, будущие исследования должны быть основаны на изучении взаимодействия между сельскохозяйственными культурами, вредителями, патогенами и системой земледелия в условиях изменения климата, принимая во внимание все параметры, такие как повышение температуры и CO₂, обилие осадков и т. д. Необходимо опубликовать достаточное количество результатов, чтобы можно было сделать осмысленные выводы.

Ключевые слова: проблемы; грибковые заболевания; азотное удобрение; пшеница; изменение климата

Для цитирования. Диаките С., Пакина Е.Н., Бехзад А., Заргар М., Саки Ф.С., Калабашкина Е.В., Цымбалова В.А., Астарханова Т.С. Влияние изменения климата, форм и избытка азотных удобрений на развитие грибных болезней пшеницы // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №2. С. 303-336. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-303-336

Introduction

Wheat is the most widely grown crop in the world, grown on 217 million hectares per year with a total world production exceeding 700 million tons, due to many qualities favorable for human nutrition. About 44% of the total world wheat production is produced in Asia, 34% in Europe, 15% in America, and 3.4–3.5% in Oceania and Africa [19]. China, India, and Russia are the three largest producers, accounting for around 41% of total global wheat production [19].

Despite the relatively large acreage of this crop, wheat production remains insufficient with production potential and growing demand, partly due to population growth. This is mainly due to the prevalence of several fungal diseases which are explosive, such as septoria, blotch, *Fusarium* wilt, *Rhynchosporium* wilt, powdery mildew, and rust, which largely contribute to the substantial loss of both yield, up to 15 to 20%, even more than 60% under conditions favorable to the development of these various pathogens, and grain quality by the presence of *Fusarium* mycotoxins [15, 32, 42, 48]. The development of these diseases is favored by the cultivation methods practiced, such as intensive monoculture, debris and crop residues, as well as sensitive varieties. This is further accentu-

ated by climate change, characterized by increased temperatures and droughts or sometimes flooding, and combined with pests and other diseases, making agricultural production less predictable [54].

The consequences of climate change will undoubtedly affect not only the spread of harmful and beneficial micro-organisms, their bio-ecological properties, and relationships with plants but also the existing management options (effectiveness and duration of pesticides) and the biological factors of the host plant [27, 31, 37]. Thus, in plots inoculated with *Fusarium culmorum*, yield losses were around 15% under wet conditions and 25% under drought conditions in Tunisia (Table) [7]. In addition, contrary to oidium, high temperatures favor the growth of uredomycelium of *Puccinia graminis* and a temperature of up to 25 °C–30°C stimulates the production of spores by Ug99 of wheat, and therefore, a warming climate only reduces it in tropical regions [43]. Elevated CO₂ levels not only increased the susceptibility of wheat varieties but also increased the virulence of *Zymoseptoria tritici* and *Fusarium graminearum*, resulting in more severe disease overall [56]. In the last 10 years, due to climate change, *Fusarium graminearum*, *Pyrenophora tritici-repentis*, *Septoria tritici*, and other pathogens have appeared recently in many wheat-growing regions in Russia [31].

Extreme temperature swings during particular developmental phases, such as the blooming stage and the grain filling phase, have an impact on the weight and size of wheat grains at the end of the season. Thus, according to Nuttall et al. (2012), wheat production decreased by 13% and most grains were sterile at 36 ± 2°C during flowering [40]. In addition, according to Asseng et al. (2015), for every 1°C increase in temperature, global wheat production is projected to decrease by 6% and become more spatially and temporally variable [2]. Similarly, Rettie et al. (2022) found that a 6°C increase in temperature reduced wheat grain yield by 47-57% in Ethiopia and 28-37% in Europe [46].

Nitrogen remains the determining element for the production of cereals, and its efficient use is decisive for the improvement of production in quantity and quality. However, the nature, dose, and telluric phytosanitary aspect of wheat, as well as the form and climatic condition in which nitrogen must be applied, is a significant challenge in wheat production [16, 17, 18, 32]. Thus, high doses of nitrogen increase the severity of stripe rust [14], stripe rust [32], powdery mildew and septoria leaf spot [7, 32], and *Fusarium* wilt [16, 18]. In three greenhouses with different environments, the use of nitrogen at a dose of 24gL⁻¹ favored the incidence and development of collar rot induced by *Fusarium culmorum* and significantly reduced the yield of durum

wheat by 76 % relative to the 1.5gL⁻¹ dose [18]. The application of nitrogen at a dose of 24 g L⁻¹ induced an increase in severity of 127%, 179% and 280% respectively for durum wheat, soft wheat and barley (Table) [18]. Similarly, unlike urea-based fertilizers, the use of ammonium nitrate significantly controlled *Fusarium culmorum* [16, 18]. Information on these challenges will be of great importance for building integrated science-based plant protection systems and improving soil fertility [31]. For this purpose, this review was interested in studying the impacts of climate change and the forms and excess of nitrogen-rich fertilizers on the development of wheat fungal diseases and their management strategies.

Table.

Impacts of climate change and excess dose of nitrogen fertilizer on the development of wheat fungal diseases

Pathogens	Factors	Quantity	Impacts	Location	Country	Sources
<i>F. culmorum</i>	Dryer season	294 mm	Yield losses (25%)	Greenhouse test	Tunisia	Chekali et al., 2013
	Wetter season	524 mm	Yield losses (15%)			
	Urea	24 g L ⁻¹	Yield losses (76%) The severity of the crown rot (179%)	Greenhouse test	Morocco	Eddine et al., 2022
<i>P. graminis f. sp. tritici</i>	Warmer climate with lower relative humidity and enhanced turbulence		Increase in the urediniospore emitting potential of an infected field as global average ~40%	Field test	Europe, Asia, America and South Africa	Prank et al., 2019
<i>B. graminis f.sp. tritici</i>	Nitrogen fertilizer	90-270 kg·ha ⁻¹	The severity on average (77.0-154.7%)	Field test	China	Luo et al., 2021
<i>P. striiformis f. sp. tritici</i>			The severity on average (37.8-350.2%)			
<i>B. graminis f.sp. tritici</i>		112.5-337.5 kg·hm ⁻²	Disease severity index (92.5-217.0%)	Field test	China	zhu et al., 2017
<i>Z. tritici</i>	Nitrogen fertilizer	50-150kg·ha ⁻¹	Stimulation and amplification of disease incidence	Field test	Tunisia	Ben Omrane, 2020
<i>B. graminis f.sp. tritici</i>	Low temperatures and ambient CO ₂	18–22°C and 450 ppm	The highest pathogen quantity was 40 µg of <i>B. graminis f.sp. tritici</i> /g fresh weight of leaves	Single phytotrons	Italy	Blandino et al., 2020

Climate change's impact on the emergence and control of wheat fungal diseases

Global climate change has recently become a significant issue and inevitably threatens sustainable wheat production, not only with direct negative effects on crop growth but also with profound impacts on biology and pest management. According to Asseng et al. (2015), for every 1°C increase in temperature, global wheat production is projected to decrease by 6% and become more spatially and temporally variable [2]. Similarly, the yield loss for each 1°C increase in global average temperature is about 6.0% for wheat, 3.2% for rice, 7.4% for maize, and 3.1% for soy [62]. A 1% increase in average growing season temperature could result in a 0.109% loss in winter wheat yield per unit area, while a 1% increase in growing season precipitation could result in a 0.109% loss in winter wheat yield per unit area of the latter by 0.186% when the other factors remain constant according to the Cobb-Douglas production function [23]. In addition, under normal conditions for the 2014-2015 campaign, the economic losses generally amounted to 344 and 243 million dollars, respectively, for the national production of durum wheat (2.4 Mt at 266 dollars/ton) and common wheat (5.6 Mt at 221 dollars/ton). But for a dry year like the 2015–2016 agricultural campaign, losses due to drought reached 317 and 718 million dollars, respectively, for durum wheat (0.9 Mt at 211 dollars/ton) and common wheat (1.9 Mt at 194 dollars/ton), and this compared to a normal year [20, 34].

An increase in CO₂ significantly reduced the total fecundity of cherry oat aphids to 22% and wheat N content to 39%, contrary to an increase in nitrogen, which would improve this [38]. Since aphids are vectors of viruses in wheat, any factor favoring their development may simultaneously increase the appearance and spread of viruses in the crop. The climate change scenarios, i.e. a temperature variation of +0.5 to 2.5°C and precipitation of -5 to -25%, significantly reduced the grain yield of wheat in the provinces of Mazandaran and Khuzestan but increased it in East Azerbaijan province [39]. In addition, the application of nitrogen fertilizer could not compensate for grain yield losses related to climate change [38, 39]. Here we can suggest that a variation in CO₂, temperature, and precipitation reduces the effectiveness of other wheat development factors, such as nitrogen.

Climate change manifests itself in frequent dry years and abrupt changes in weather patterns during the season. In general, the biology of pathogens and pests (survival rates, spread, infection of plants, development of the disease, reproduction of the pathogen, vectors, reserve plants, antagonists, and competitors of the pathogen), including existing management options (effectiveness

and duration of pesticides) and host plant biological factors, is more or less directly influenced by temperature, rainfall, humidity, light quality and quantity, and wind [27, 31, 37]. However, a change in temperature and other climatic conditions, such as a change in precipitation, can lead to various changes related to wheat pathogens, which generally include range expansion, seasonal phenology, virulence, and population dynamics [3, 37, 57]. This may ultimately result in a change in the incidence and severity of disease at a given location and should be offset by a corresponding increase in treatment efforts seen by changes in expenditure.

Preventing or controlling wheat pests and diseases in the context of climate change is a big challenge because wheat is inevitably infected by a large number of pathogens with different development factors and which are constantly increasing each year. For example, heavy rainfall and a dew phase throughout the vegetative growth period of wheat in the spring favor the development of *Zymoseptoria tritici*, unlike *Fusarium* species, which only require rainfall of about 2–3 mm during flowering, and *Puccinia triticina* only needs night dew [47]. Similarly, *Pythium* species greatly prefer moisture; *Bipolaris sorokiniana*—hot, dry soils; *Tilletia laevis*—cold, moist conditions; *Rhizoctonia cerealis*—dry, sandy soils; cold and high humidity [3]. In short, each change in climatic conditions favors the development of organisms harmful to crops. To predict the potential development of a particular disease under new environmental conditions, it is necessary to pay close attention to a detailed study of the temperature requirements for each stage of the pathogen. This is also important because different scenarios of global warming are expected [31].

Several studies have sought to assess the effects of several factors—increased temperatures, CO₂, and changes in water or humidity conditions—on the incidence and severity of phytopathology, with study methods ranging from simple equations to complex models such as DSSAT (America), APSIM (Australia), and CCSODS (China) [23, 27]. Thus, by applying an earth system model, Prank et al. (2019) showed that a warmer climate with lower relative humidity and increased turbulence may lead to an increased urediospore emission potential of *Puccinia graminis f. sp. tritici* at 40% in the field of infected wheat (Table) [43]. The infection increased up to two times after inoculation with *Puccinia striiformis f. sp. tritici* from wheat plants grown at 12°C during the dark period and at 18°C or 25°C during the light period and transferred to the lower daytime temperature. Similarly, increased resistance when plants experienced increased temperatures was observed in seedlings and manifested as reduced hyphal colonization compared to seedlings maintained at cooler day-

time temperatures. This temperature sensitivity is genotype-dependent in wheat seedlings [11]. The most favorable conditions for the progression of powdery mildew on wheat were low temperatures ranging from 18–22°C and ambient CO₂ (450 ppm) when healthy plants inoculated with *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* were exposed to phytotrons. High temperatures ranging from 26 to 30°C inhibited the growth of pathogens, while high CO₂ content did not stimulate the development of powdery mildew but impaired plant vitality [36]. On the other hand, an increase in CO₂ levels favored the development of powdery mildew, leaf rust, and stem rust in susceptible wheat varieties [8]. For all wheat cultivars grown at high CO₂ in the field, grain yield increased (+16%), protein content decreased (-7%), accompanied by a reduction in dough strength, and the deoxynivalenol content increased significantly in ordinary bread-making cultivars, although the sign of *Fusarium* head blight was not noticed [9].

With the current effects of climate change, it is expected that new pests and diseases will appear, causing a change in the frequency of pathogen isolation. As evidenced by recent outbreaks of stem rust strain Ug99 in Uganda, Ethiopia, South Africa, Iran, Russia, Germany, the United Kingdom, Sweden, Denmark, and Sicily [54], and stripe rust in Central and West Asia and North Africa [43]. In addition, in recent years with increasing temperatures and drier conditions, the frequency of *Fusarium culmorum* isolation has decreased and that of *Fusarium graminearum* has increased in the UK, the Netherlands, northern Germany, and northern Poland. On the other hand, that of *Fusarium graminearum* is decreasing in several European countries and that of *Fusarium poae* is increasing significantly [37]. Also, in recent years, in the conditions of the Republic of Udmurtia, the increase in snow mold and sclerotinia in winter crops is associated with global warming and increased precipitation in autumn and winter [55]. However, when the ambient temperature changes, a change in species dominance can occur [31]. In 2017, the significantly below-average rainfall and above-average temperatures observed in January 2018 caused water stress and favored the invasion of Fall Armyworms, which were detected in all countries of Southern Africa except Lesotho and Mauritius [20]. Strong winds due to climate change were shown to transport stem rust spores within 3 days between North America and Europe, reaching Australia from South Africa, Africa from South America, and South America from New Zealand [43]. However, long-term changes in disease onset must inevitably lead to adjustments in future breeding strategies for resistance, where the stability and durability of disease resistance under heat and water stress will be important for the future. In general, it would be important to focus on resistance genes and quantitative

trait loci that are not temperature-sensitive [37].

Indirect effects are mediated by host plant physiology and/or climate change-induced crop management adaptations, such as the introduction of irrigation, the abolition of soil turning operations to achieve conservation agriculture, and shifting sowing dates, for example, due to accelerated crop development [37]. At excessive temperatures, winter wheat tends to proliferate, which weakens its resistance to cold and also shortens its growing season, causing a reduction in grain weight and affecting grain quality. According to Tuktarova (2019), in the Republic of Udmurtia in Russia, the sowing time of winter crops should be postponed to a later period (by 7–10 days) compared to the recommendations given in 1970–1980 [55]. Similarly, in Iran, late sowing dates in November, December, and January improved wheat yield [39].

Effects of nitrogen fertilizer forms and excess on wheat fungal diseases

The influence of fertilizers extended not only to cultivated plants but also to the defeat of their diseases and the environment. Since the 1990s, several studies have shown that excessive nitrogen application can have a direct impact on stripe rust and powdery mildew infection and disease severity due to an increase in the density of the canopy, which provides a favorable microclimate for the development and propagation of pathogenic fungi, and also an increase in the nitrogen content of the host tissue by acting as a substrate for the growth of pathogens [14, 26, 32]. In addition, various forms of N can induce changes in physiological or biochemical processes, such as nutrient uptake, photosynthetic, respiratory and enzymatic activity, osmoregulation, and signaling pathways, which may be responsible for these tolerance mechanisms or the persistence of the host plant, thus influencing crop yield [25, 26].

Thus, unlike nitrate (NO_3^-), a low (2 mmol/L) or high (10 mmol/L) N rate in the form of ammonium (NH_4^+) reduced wheat biomass by 54% or 85%, respectively [25]. Ammonium also significantly reduced the content of K^+ , an important osmotic agent, which would have a particular effect on the water status of wheat plants [25]. Indeed, wheat, like sugar beets, beans, tobacco, and canola, grows preferentially on NO_3^- nutrition, while rice, pine, and larch grow preferentially on NH_4^+ nutrition [25]. Ghafoor et al. (2021) also showed that coated fertilizers improved wheat growth and development, physiology, yield, and nitrogen use efficiencies [24]. Thus, compared to monotypic urea, urea coated with bioactive sulfur with nitrogen at 130 kg/ha significantly increased: the chlorophyll content by 55.0 (unit value), the net rate of leaf photosynthesis

(12.51 mol CO₂ m⁻² s⁻¹), and leaf area index (5.67); partial factor productivity (43.85 Kg grain Kg⁻¹N provided), nitrogen harvest index (64.70%), and partial nutrient balance (1.41 kg grain N content Kg⁻¹ N provided); maximum total dry matter 14402 (kg/ha); 1000 grain weight (33.66g), number of grains per ear (53.67), grain yield (4457 kg/ha) and harvest index (34.29%) [24]. In addition, by improving nitrogen uptake by plants (22.17%), coated urea fertilizers inhibited nitrification and ammonia volatilization processes [24]. These results agree with those of Shivay et al. (2016) [51].

Lyu et al. (2022) also showed foliar applications of urea and, in particular, of NO₃⁻ increased the filling of wheat grain in N compared to those of NH₄⁺. This increase was related to the remobilization of N by NO₃⁻ and urea from the source organs to the grain. Indeed, NO₃⁻ and urea at 20–28 days after anthesis up-regulated genes control gluten protein synthesis and disulfide bonds, contributing to increased grain protein content and quality [33]. In addition, cover fertilization based on urea applied at a dose of 24g L⁻¹ at the tillering and bolting stages significantly increased the severity of the disease induced by *Fusarium culmorum* under greenhouse conditions, with a significant reduction in the dry biomass of durum wheat plants compared to the other forms tested, in particular ammonium sulphate and ammonium nitrate [16]. Moreover, the urea form supported the growth, sporulation, and pathogenicity of *Fusarium culmorum*, especially at a temperature of 20–25°C, and its use at a dose of 24g L⁻¹ biased varietal resistance [17].

Increased N levels increased the severity of stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) of wheat during grain filling, with a tendency to lower yields. The effects of stripe rust on N yield are most likely associated with reduced N uptake during grain filling [14]. *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* increased nitrogen content from 6.6% to 12.5%, nitrogen accumulation from 1.4% to 6.9%, and nitrogen allocation rate in intercropped wheat leaves from 9.0% to 15.5% at the maximum infection stage [63]. Similarly, *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* inhibited the activity of glutamine synthetase and glutamate synthase, which play a colossal role in plant nitrogen metabolism, as well as the expression of glutamine synthetase in susceptible wheat (Xi'nong 979), which caused inhibition of nitrogen metabolism in grains 20–30 days after anthesis [16]. Thus, a study of the influence of three cropping regimes (wheat monoculture, faba bean monoculture, and wheat/bean intercropping) and four nitrogen levels [N0 (0 kg/ha), N1 (90 kg/ha), N2 (180 kg/ha), and N3 (270 kg/ha)] showed that over two consecutive planting seasons, the severity of wheat powdery mildew and stripe rust increased sharply as higher amounts of nitrogen were applied. For the two planting seasons, powdery mildew increased on average by 77.0–134.1 and 109.4–154.7%, and stripe rust by

37.8–350.2 and 74.4–287.8%, respectively. The incidence and disease index of wheat powdery mildew and stripe rust were highest at the N3 level, followed by N2, N1, and N0 [32]. Regardless of the monocropping or intercropping regime, N application tended to increase the occurrence and severity of powdery mildew and wheat stripe rust, which had the highest incidence and disease index raised to the N3 level (Table) [32]. These results are similar to those of Zhu et al. (2017). With increasing nitrogen application of N1 (112.5 kg hm⁻²), N2 (225 kg hm⁻²), and N3 (337.5 kg hm⁻²), the incidence of wheat powdery mildew disease increased on average from 39.6% to 55.6% and the disease severity index from 92.5% to 217.0%. These indices were higher in monoculture than in the intercropping of wheat and faba beans [63]. Thus, the nitrogen level not only influenced disease occurrence but also decreased the relative efficiency of the intercropping system. The severity of powdery mildew and septoria leaf spot increased with yearly N application, especially early N application [41]. Nitrogen applied earlier resulted in a higher demand for disease control [41]. The highest level of septoria severity in four varieties of durum wheat was recorded for the 150 kg/ha dose, followed by the two doses of 100 and 50 kg/ha. As a result, the addition of nitrogen fertilizer stimulates and amplifies the incidence of this disease. In addition, it has also been observed that direct seeding, being responsible for the preservation of the soil microflora and the sources of inoculum of septoria wilt, is also the main reason for the increase in the disease incidence and severity paired with high doses of nitrogen (150 kg/ha) [7].

Rempelos et al. (2018) suggest that the application of NPK mineral fertilizers reduces the content of phenolic acid and flavonoids in the leaf tissues of wheat and increases the susceptibility of wheat to lodging and powdery mildew. Unlike herbicides, fungicides and growth regulators ensure the reduction of lodging and leaf diseases without affecting the latter [45]. Fertilizer at the dose of N30P30K30 without the other test factors induced an increase in the spread of root rot by an average of 2.7% during the emergence phase of wheat caused by *Alternaria sp.*, *Bipolaris sp.*, and *Fusarium sp.* [44]. Rogozhnikova et al. (2016) also reported that the application of mineral and new organomineral fertilizers based on chicken manure at the same time reduced the damage caused by root rot and helminthosporiosis on spring barley and had a tendency to increase the development of powdery mildew and leaf rust. A stronger grain infection by fungi of the genera *Alternaria* and *Fusarium* was noticed [47]. This shows that the reasoning for nitrogen fertilization for cereals should take into consideration the nature and the dose to be applied as well as the telluric phytosanitary aspect of the crops.

This problem is more complex in the barley chain than in wheat because it concerns not only diseases but also the quality of malted barley. In malting barley, the starch content is paramount, combined with good phosphorus-potassium nutrition. Increasing nitrogen nutrition reduces its accumulation. Studies have shown that a change in seed quality following an increase in fertilizer concentration decreases the purpose of barley use. The use of higher doses (up to 90 kg/ha) contributed to the increase in yield, maximized the crude protein content of the grain, and reduced the starch and extract content. This grain is not suitable for mashing in terms of protein content but can be used for livestock needs [22].

Wheat agricultural production management strategy

Good control practices include adjusting sowing dates, optimizing sowing rate, improving sowing methods and sowing depth, developing quality seeds and rapidly multiplying seeds of new wheat varieties, treating seeds with combined preparations containing several active substances that solve complex seed protection problems, developing varieties with high yield potential and resistance to biotic and abiotic stresses and with good end-use quality [18, 27, 39]. Yet, under natural conditions, temperatures are constantly changing, and the effect of this on resistance requires further study so that planting strategies can be provided promptly to avoid or mitigate the negative impacts of climate change [23]. In general, it would be important to focus on the transfer of resistance genes or quantitative trait loci not sensitive to temperature or to plant new cereals that have higher heat requirements and a longer reproductive growth period [23, 37].

Thus, the grain yield losses of the Mexicali cultivar of durum wheat in Algeria were -37.5%, -35%, and -7% with early sowing on September 15, October 15, and November 15, respectively. On the other hand, late sowing on November 30 and December 15 increased grain yields by +13% and +27%, respectively [30]. Early sowing in mid-September and October will result in improved wheat yields as it allows wheat plants to benefit from increased rainfall throughout the fall season in 2035–2064. This early sowing will ensure good vegetative development and allow flowering and filling of wheat grains before the spring warming period [30]. In Morocco, early sowing (November 1, 2011 and November 16, 2011) of wheat leads to higher yields compared to late sowing (date of observation: December 1, 2011) of 7.40 to 5.32 t/ha [6]. In addition, a considerable reduction of more than 40% of applied irrigation water can be obtained by optimizing sowing dates in the semi-arid region of Haouz (Morocco) [6]. However, the best sowing dates depend largely on weather con-

ditions and farming regions. The optimal conditions for growing winter wheat in the experiment in the Ulyanovsk region of Russia, on average over 6 years, were formed during sowing from August 30 to September 10 [49]. The highest grain yield (4.8... 5.1 t/ha) of the Marathon variety was noted for bare fallow, for peas it was 1.3... 1.4 times lower (3.7... 3.8 t/ha) [49]. Earlier (August 20) and later (September 20 to October 10) sowing ensured the formation of much lower yields [49]. The maximum content of protein (13.6%) and gluten (31.9%) in the experiment was noted in winter wheat grain during a late sowing period (October 10) for fallow naked, the minimum of September 10 for peas (respectively 12.2 and 28.8%). In the first case, this can be explained by the low planting density: a large feeding area played a positive role in creating high-quality grain of winter wheat. In the second, quality indicators were low due to optimal stem density and high yield [49]. Indeed, early sowing as a rule forms a large vegetative mass, which creates the prerequisites for the most developed autumn shoots to die from damping off, and late sowing does not have time to develop, remaining on the primary roots, winter poorly and grow weakly, which affects their productivity [49].

Using early-flowering winter wheat cultivars shows higher yield gains (26–38%) than early sowing (6–10%), which is able to reverse yield reductions. Adopted early-flowering cultivars successfully advance the onset of anthesis and grain-filling period, which reduces or avoids the risk of exposure to increased drought and heat stress in late spring [60]. Additionally, the near-constant increases in average yields for 2021–2050 and 2051–2080 (up to 39%), using 30% early flowering cultivars, may highlight potential opportunities for improved local yields despite adverse conditions. unfavorable climatic conditions [60].

To achieve food security, farmers depend on quality seeds of varieties appropriate to their needs. However, over the past decades in Russia, the contribution of cereal varietal selection has been estimated at 30–70%, and as climate change intensifies, it will steadily increase [1]. The system of increasing the production of high-quality wheat grains can work effectively only if there is an appropriate economic mechanism to increase the economic interest of participants in agricultural activity. In this regard, it should be noted that in recent years, the development of the grain economy in the Russian Federation has been facilitated by the following state support measures that have boosted grain production: the granting of subsidies for the granting of untied support to agricultural producers in the field of crop production; the provision of subsidies to reimburse part of the costs of agricultural producers to pay interest on loans for the development of agricultural production, and short-term preferential loans [1].

Seed treatment with pesticides is one of the targeted, economical, and environmentally friendly measures to protect plants from diseases and pests. Thus, the initial treatment of wheat seeds with carboxin + thiram resulted in grain yield increases of 9% and 8% in successive years compared to the supplemental control treatment [50]. A single foliar spray after flowering further increased grain yields by up to 15%, demonstrating the potential of this complementary fungicidal approach [50]. Similarly, seed treatment with tebuconazole, triticonazole individually increased yield by 8–9%. When the seeds were treated with disinfectants based on two active ingredients, the yield increased by 14–16% [29].

For editing plant genomes, the researchers used a number of experimental developments, such as zinc finger nuclease (ZFN), transcription activator-like effector nucleases (TALEN), and a nuclease 9 associated with short repeats. regularly spaced palindromics (CRISPR/Cas9): from virtual bioinformatics selection of targets in the wheat genome to obtaining seeds that successfully inherit introduced mutations. For the first time, the CRISPR/Cas9 system was successfully used to edit the TaMLO gene (Mildew resistance locus O) in wheat in 2014, the HKT1 gene (high-affinity potassium transporter gene) in maize in 2014, and HvPM19 (codes for a plasma membrane protein) from barley in 2015 [53]. Now, the number of experimental and methodological publications on genome editing of these cultures using CRISPR/Cas is increasing exponentially every year, and editing efficiency is reaching very high frequencies—from mutations are found in nearly 100% of edited maize and barley plants and reaches, at best, just over 50% for wheat [53]. Similarly, work has also been published aimed at reducing the allergen content of wheat grain by genetic editing of the conserved region of α -gliadin (nRNA) synthesis genes [53].

The first genome-edited wheat plant obtained through the use of CRISPR-Cas9 was reported by Wang et al. (2014). This was achieved in combination with TALEN genome editing technology to eliminate the three sub-genomes of the MLO (Mildew Resistance Locus) gene to confer resistance to powdery mildew in wheat [58]. Similarly, the gene encoding enhanced disease resistance1 (EDR1), a negative factor against powdery mildew defenses, was simultaneously modified using CRISPR/Cas9, generating wheat with improved resistance to powdery mildew [61]. Wang W. et al. (2018) also demonstrated multiplexed gene editing of three wheat genes, TaGW2 (a negative regulator of grain traits), TaLpx-1 (lipoxygenase, which confers resistance to *Fusarium graminearum*) and TaMLO (loss of function, which confers resistance to powdery mildew), using the wheat snRNA U3 promoter [59]. The deoxynivalenol-induced transcription factor TaNFXL1 promotes wheat susceptibility to

Fusarium graminearum by unknown mechanisms. Thus, CRISPR-mediated genome editing of the Fielder cultivar indicated that TaNFXL1 represses *F. graminearum* resistance [10]. Thus, CRISPR/Cas9 is an important way to improve wheat disease resistance.

The usefulness of these “good prophylactic practices”, which aim to prevent the appearance or spread of disease by tilling the soil before sowing and the choice of rotation, to develop resource conservation technologies to improve fertility and soil productivity in a changing climate [23, 27].

Thus, a diversified crop rotation improved the yield of spring wheat by up to 30% in direct seeding and 13% in plowing compared to monoculture. Similarly, on average, the severity of wheat leaf spot disease, mainly caused by *Pyrenophora tritici-repentis*, was 20% lower when wheat was grown every four years (spring wheat-shuttle-barley-pea) compared to wheat monoculture in southwestern Finland [28]. The yield in the summer fallow rotation was 4.31 t/ha, the yield where the predecessor of wheat had been pea, was 4.00 t/ha, and the yield in the grain-grass rotation was 3.94 t/ha for twenty years of experience [52]. Crop rotation reduces yield losses caused by weather extremes for spring (barley and wheat) and winter (oats, wheat, and rye) cereals, providing great benefits, especially under dry conditions. On average, winter and spring cereals are produced more in diversified rotation, producing, respectively, 860 and 390 kg/ha per year, which corresponds to a yield gain of 20 to 25% compared to monoculture [35]. When sowing on fallow land, on average for 2018–2021, the new variety Omskaya 44 (created by the method of intraspecific hybridization) significantly exceeded the standard Duet and the best variety of the forest-steppe zone, Omskaya 38, in terms of yield. The excess protein and gluten content in the grain of the new variety averaged 2.23 and 4.00%, respectively, compared to the norm [5]. Similarly, septoria caused yield losses for both sensitive varieties (Razzak and Karim) and the most tolerant varieties, including Maâli and Salim. The incidence of this disease was also higher in direct sowing for the four genotypes tested compared to conventional. The nitrogen and protein content for the two tolerant genotypes (Maâli and Salim) increased by 20% and 22%, respectively, when applying conventional seeding compared to direct seeding [7].

One of the possible levers of action is to improve the management of nitrogen fertilization, a key factor in controlling and increasing yields. In addition, this fertilization is an important component in the management of some of the most dreaded diseases in wheat-producing regions. Thus, the supply of fertilizers at a dose of 1.5 g/L and especially that of ammonium nitrate significantly

reduced the severity of the disease of wheat inoculated with *F. culmorum*, resulting in an improvement in grain yield and of its components [16-18]. As part of the control of wheat powdery mildew (*Blumeria graminis f. sp. tritici*) and stripe rust (*Puccinia striiformis* Westend. *f. sp. tritici*) and crop yield increase, nitrogen fertilization with 180 kg/ha was found to be optimal in southwest China [32].

Improve the irrigation system to ensure the water supply of wheat during the critical growth period, which is beneficial to reduce the impacts of the drier climate in tropical and subtropical areas and reducing yield losses of wheat [23, 43]. In addition, regular irrigation can reduce leaf colonization by spores [43].

Under unique spring irrigation conditions in the North China Plain, 90 mm of irrigation at the 4-leaf age of wheat in spring was the optimal time for water use efficiency, and grain yield. The increase in grain number can be attributed to the higher daily water intake and percentage water intake of the L4 throughout the joint-anthesis stages compared to the visible 3-leaf (L3) stages, visible 4-leaf stage (L4), visible 5-leaf stage (L5), and visible 6-leaf stage (L6) [4].

More recently, the applications of nanotechnology in the agricultural field most often consist of encapsulating known herbicides, fungicides, or insecticides in synthetic nanocarriers composed of clay, silica, lignin, or natural polymers, in particular alginate, chitosan, and ethylcellulose [27].

To prepare for adaptation to climate change, it is necessary to isolate the effects of each factor for possible impacts on yield, as changes in different factors generally require different coping strategies [31, 62].

First, constant monitoring for the emergence of new plant diseases and improved pest forecasting systems. Climate changes on the planet are of international importance, so it would be expedient to create an international network of observations of the spread of plant diseases and microorganisms in the soil habitat and to ensure a constant exchange of information between countries [31].

The exchange of information at the international level on trade flows as well as on the occurrences and interceptions of harmful organisms is extremely important to compensate for the lack of data from scientific research on the effects of climate change on plant health. It is also essential to share information on the evolution of the distribution of pests and their host ranges, as well as on the adaptive capacity of pests and host plants [27].

Coating urea with secondary nutrients, neem oil, and microorganisms are very effective technique to improve fertilizer use efficiency and wheat production in calcareous soils and reduce nitrogen in the soil and arid environments (Ghafoor et al., 2021). To optimize grain protein accumulation and quality formation, it is essential to manipulate the source-sink relationship by increasing

grain N demand and N metabolism activity, resulting in the remobilization of more N [33].

Growing concerns have been expressed by the public about environmental contamination, food safety, and human health issues arising from the heavy use of pesticides in agriculture and food production. Therefore, the application of biopesticides based on strains of *C. rosea*, *T. harzianum*, *P. fluorescens*, and *B. subtilis* will reduce the use of fungicides, as detailed by [15].

From planting crops to harvesting, wheat must be placed after the predecessors of perennial legumes and leguminous crops in the rotation, as well as biological preparations as fertilizers, and replace nano-fertilizers with conventional fertilizers to ensure environmental safety. However, a combination of silicate and nitrogen fertilization can also be used. Because experiments in different countries, including Germany, China, New Jersey, Brazil, Poland, Egypt, Canada, and Iran, have shown that fertilizing soil or treating plants with silicon improves the quantity and quality of wheat yields under different conditions [13]. Applying silicon, applied to the soil as calcium magnesium silicate in the furrow and as potassium silicate applied to the leaves or as soluble sodium metasilicate, can reduce up to 5–80% of the severity of wheat blast caused by *Magnaporthe oryzae*, powdery mildew caused by *Blumeria graminis f. sp. tritici*, *Fusarium* head blight caused by *Fusarium graminearum*, leaf spot caused by *Bipolaris sorokiniana*, leaf spot caused by *Stagonospora nodorum*, septoria leaf spot caused by *Zymoseptoria tritici*, leaf spot caused by *Oculimacula yallundae*, and tan spots caused by *Pyrenophora tritici-repentis* [13]. The role of Si in wheat-pathogen interactions is linked to its action to modulate the plant's defense against the stressor [13]. Indeed, in wheat, it stimulates the production of glutathione reductase, phenolic compounds (flavonoids), phytoalexins, lignin thioglycolic acid, and H₂O₂, which leads to an increase in the incubation period and a reduction in the colonization of host cells by the pathogen [13].

Conclusion

In conclusion, the evidence revealed in this review indicates that climate change will in many cases lead to an increase in the various diseases attacking wheat. However, these recent climate changes are already forcing changes in plant protection protocols. To develop an effective agricultural management strategy, future research should be based on the study of the interactions among crops, pests, pathogens and farming system under climate change, taking into account all parameters such as temperature increase and CO₂, extreme precipitation, etc.

Conflict of interest information. The authors declare that there are no conflicts of interest regarding the publication of this paper.

Funding. No funding was received to assist with the preparation of this manuscript.

References

1. Altukhov A. I., Zavalin A. A., Milaschenko N. Z., Trushkin S. V. The problem of improving wheat quality in the country requires a complex solution. *Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*, 2020, no. 2, pp. 32-39.
2. Asseng S., Ewert F., Martre P., et al. Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Clim Change*, 2015, vol. 5 no. 2, pp. 143–147. <https://doi.org/10.1038/nclimate2470>
3. Bajwa A. A., Farooq M., Al-Sadi A.M., Nawaz A., Jabran K., Siddique K.H.M. Impact of climate change on biology and management of wheat pests. *Crop Protection*, 2020, vol. 137, no. 105304. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105304>
4. Bao, X., Liu, X., Hou, X. *et al.* Single irrigation at the four-leaf stage in the spring optimizes winter wheat water consumption characteristics and water use efficiency. *Sci Rep*, 2022, vol. 12, pp. 14257. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18446-8>
5. Belan I. A., Rosseeva L. P., Grigoriev Yu. P., Pakhotina I. V. High-quality variety of soft spring wheat Omskaya 44 for the conditions of Western Siberia and Omsk region. *Agricultural Science Euro-North-East*, 2022, vol. 23, no. 2, pp. 174-183. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.174-183>
6. Belaqziz S., Khabba S., Kharrou MH., Bouras EH., Er-Raki S., Chehbouni A. Optimizing the Sowing Date to Improve Water Management and Wheat Yield in a Large Irrigation Scheme, through a Remote Sensing and an Evolution Strategy-Based Approach. *Remote Sensing*, 2021, vol.13, no. 18, 3789. <https://doi.org/10.3390/rs13183789>
7. Ben Omrane M. *Study of nitrogen absorption and remobilization mechanisms in order to characterize the efficiency of nitrogen use in durum wheat under biotic stress (septoria). Dissertation (Master of science): CIHEAM-IAMM, Montpellier (France), 2020 p. 68 (Master of Science: Professional, num.969).* http://www.iamm.ciheam.org/ress_doc/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=42265
8. Bencze S., Vida G., Balla K., Varga-László E., Veisz O. Response of wheat fungal diseases to elevated atmospheric CO₂ Level. *Cereal Res Commun*, 2013, vol. 41, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1556/CRC.2013.0021>
9. Blandino M., Badeck F.W., Giordano D., Marti A., Rizza F., Scarpino V., & Vaccino, P. Elevated CO₂ Impact on Common Wheat (*Triticum aestivum* L.)

- Yield, Wholemeal Quality, and Sanitary Risk. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2020, vol. 68(39), pp. 10574–10585. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c02975>
10. Brauer E. K., Balcerzak M., Rocheleau H., Leung W., Scherthner J., Subramaniam R., Ouellet T. Genome Editing of a Deoxynivalenol-Induced Transcription Factor Confers Resistance to *Fusarium graminearum* in Wheat. *Molecular plant-microbe interactions: MPMI*, 2020, vol. 33, no. 3, pp. 553–560. <https://doi.org/10.1094/MPMI-11-19-0332-R>
 11. Bryant R.R.M., Mcgrann G.R.D., Mitchell A.R., Schoonbeek H., Boyd L.A., Uauy C., Dorling S., Ridout C.J. A change in temperature modulates defence to yellow (stripe) rust in wheat line UC1041 independently of resistance gene Yr36. *BMC Plant Biol*, 2014, vol. 14, no.10. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-14-10>
 12. Chekali S., Gargouri S., Berraies S., Gharbi M.S., Nicol M.J., Nasraoui B. Impact of *Fusarium* foot and root rot on yield of cereals in Tunisia. *Tunisian Journal of Plant Protection*, 2013, vol. 8, no. 2, pp. 75-86.
 13. Dallagnol L.J., Ramos A.E. R., Dorneles K.d.R. Silicon use in the integrated disease management of wheat: current knowledge. in (ed.), current trends in wheat research. *IntechOpen*, 2020 <https://doi.org/10.5772/intechopen.95285>
 14. Devadas R., Simpfendorfer S., Backhouse D., Lamb D.W. Effect of stripe rust on the yield response of wheat to nitrogen. *Crop J.*, 2014, vol. 2, pp. 201–206. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2014.05.002>
 15. Diakite S., Pakina E., Zargar M., Aldaibe A. A.D., Denis P., Gregory L., Behzad A. Yield losses of cereal crops by *Fusarium* Link: A review on the perspective of biological control practices. *Res. Crop*, 2022, vol. 23, no. 2, pp. 418-436. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2022.057>
 16. Eddine B.S., El Yousfi B., Douira A. Interaction of nitrogen fertilizers with wheat growth stage and foliar treatment with urea effects on WCR induced by *Fusarium culmorum*. *Plant Archives*, 2019, vol. 19, no.2, pp. 2829-2835.
 17. Eddine B.S., El Yousfi B., Douira A. Effects of nitrogen forms and rates on *Fusarium culmorum* growth, fitness, aggressiveness and wheat, barley and triticale resistance to crown rot disease. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 2020, vol. 21, pp. 107-129.
 18. Eddine B.S., Douira A., El Yousfi B. Effect of nitrogenous fertilizers on wheat and barley yield under biotic stress due to dry crown rot induced by *Fusarium culmorum*. *Moroccan Journal of Agricultural Sciences*, 2022, vol. 10(1), pp. 17-30. (In French)
 19. Erenstein O., Jaleta M., Mottaleb K.A., Sonder K., Donovan J., Braun HJ. Global trends in wheat production, consumption and trade. In: Reynolds,

- M.P., Braun, HJ. (eds) wheat improvement. *Springer Cham*, 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90673-3_4
20. FAO. Quarterly Global Report: Crop Prospects and Food Situation. *FAO*, 2018. <http://www.fao.org/publications>
 21. Gao H., Niu J., Liu W., Zhang D., Li S. Effect of wheat powdery mildew on grain nitrogen metabolism. *The Journal of Agricultural Science*, 2022, vol. 159, no. 1-2, pp. 128-138. <https://doi.org/10.1017/S0021859621000307>
 22. Gavrilova A. Yu., Konova A.M., Samsonova N.E. Influence of doses and combinations of mineral fertilizers on formation of productivity and quality of malting barley grain in the Central Non-Chernozem Region, *Agrochemicals*, 2020, no. 9, pp. 24–31. <https://doi.org/10.31857/S0002188120090069>
 23. Geng X., Wang F., Ren W., Hao Z. Climate change impacts on winter wheat yield in Northern China. *Advances in Meteorology*, 2019, vol. 2019, pp. 1–12. <https://doi.org/10.1155/2019/2767018>
 24. Ghafoor I., Habib-Ur-Rahman M., Ali M., Afzal M., Ahmed W., Gaiser T., Ghaffar A. Slow-release nitrogen fertilizers enhance growth, yield, NUE in wheat crop and reduce nitrogen losses under an arid environment. *Environ Sci Pollut Res*, 2021, vol. 28, no. 32, pp. 43528–43543. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13700-4>
 25. Guo J., Jia Y., Chen H., Zhang L., Yang J., Zhang J., Hu X., Ye X., Li Y., Zhou Y. Growth, photosynthesis, and nutrient uptake in wheat are affected by differences in nitrogen levels and forms and potassium supply. *Scientific reports*, 2019, vol. 9(1), no. 1248. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37838-3>
 26. Gupta N., Debnath S., Sharma S., Sharma P., Purohit J. Role of nutrients in controlling the plant diseases in sustainable agriculture. In: Meena, V., Mishra, P., Bisht, J., Pattanayak, A. (eds) *Agriculturally important microbes for sustainable agriculture*. Springer, Singapore, 2017. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5343-6_8
 27. IPCC Secretariat. Scientific review of the impact of climate change on plant pests – A global challenge to prevent and mitigate plant pest risks in agriculture, forestry and ecosystems. Rome. *FAO on behalf of the IPCC Secretariat*, 2021. <https://doi.org/10.4060/cb4769en>
 28. Jalli M., Huusela E., Jalli H., Kauppi K., Niemi M., Himanen S., Jauhiainen L. Effects of Crop Rotation on Spring Wheat Yield and Pest Occurrence in Different Tillage Systems: A Multi-Year Experiment in Finnish Growing Conditions. *Front. Sustain. Food Syst.*, 2021, vol. 5, pp. 647335. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.647335>
 29. Kekalo A. Yu., Zargaryan N. Yu., Filippov A. S., Nemchenko V. V. Efficiency of application of fungicides for spring wheat protection against root rots. *Siberi-*

- an Herald of Agricultural Science*, 2019, vol. 49, no. 3, pp. 24-30. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2019-3-3>
30. Kourat T., Smadhi D., Madani A. Modeling the Impact of Future Climate Change Impacts on Rainfed Durum Wheat Production in Algeria, *Climate*, 2022, vol.10, no. 4, 50. <https://doi.org/10.3390/cli10040050>
 31. Levitin M.M. Microorganisms and global climate change. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* [Agricultural Biology], 2015, vol. 50, no. 5, pp. 641-647. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.5.641rus>
 32. Luo C., Ma L., Zhu J., Guo Z., Dong K., Dong Y. Effects of nitrogen and intercropping on the occurrence of wheat powdery mildew and stripe rust and the relationship with crop yield. *Front. Plant Sci.*, 2021, vol. 12, no. 637393. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.637393>
 33. Lyu X., Liu Y., Li N., Ku L., Hou Y., Wen X. Foliar applications of various nitrogen (N) forms to winter wheat affect grain protein accumulation and quality via N metabolism and remobilization. *The Crop Journal*. 2022, vol. 10, pp. 1165–1177. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2021.10.009>
 34. MAPM. Moroccan agriculture in figures 2017, 2018 edition. *Ministry of Agriculture and Maritime Fisheries (MAPM)*, 2017. <http://www.agriculture.gov.ma/sites/default/files/AgricultureEnChiffre2017VAVF.pdf>
 35. Marini L., St-Martin A., Vico G., Baldoni G., Berti A., Blecharczyk A., et al. Crop rotations sustain cereal yields under a changing climate. *Environ. Res. Lett.*, 2020, vol. 15, no. 12, pp. 124011. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abc651>
 36. Matić S., Cucu M.A., Garibaldi A., Gullino M.L. Combined effect of CO₂ and temperature on wheat powdery mildew development. *The plant pathology journal*, 2018, vol.1 34, no. 4, pp. 316–326. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.11.2017.0226>
 37. Miedaner T., Juroszek P. Climate change will influence disease resistance breeding in wheat in Northwestern Europe. *Theor Appl Genet*, 2021, vo. 134, no. 6, pp. 1771–1785. <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03807-0>
 38. Navarro C. E., Lam S.K., Trębicki P. Elevated carbon dioxide and nitrogen impact wheat and its aphid pest. *Frontiers in plant science*, 2020, vol. 11, no. 605337. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.605337>
 39. Nazari M., Mirgol B., Salehi H. climate change impact assessment and adaptation strategies for rainfed wheat in contrasting climatic regions of Iran. *Front. Agron*, 2021, vol. 3, no. 806146. <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.806146>
 40. Nuttall J., Brady S., Brand J., O'Leary G., Fitzgerald GJ. Heat waves and wheat growth under a future climate. In *The 16th Australian Agronomy Con-*

- ference: Climate Change*, pp. 14-18. http://www.regional.org.au/au/asa/2012/climate-change/8085_nuttalljg.htm
41. Olesen J., Jørgensen L., Petersen J., Mortensen J. Effects of rate and timing of nitrogen fertilizer on disease control by fungicides in winter wheat. 1. Grain yield and foliar disease control. *The Journal of Agricultural Science*, 2003, vol. 140, no. 1, pp. 1-13. <https://doi.org/10.1017/S0021859602002885>
 42. Park, R.F., Golegaonkar, P.G., Derevnina, L., Sandhu, K. S., Karaoglu, H., Elmansour, H.M., Dracatos, P.M., Singh, D. Leaf rust of cultivated barley: pathology and control. *Annual review of phytopathology*, 2015, vol. 53(1), pp. 565–589. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080614-120324>
 43. Prank M., Kenaley S.C., Bergstrom G.C., Acevedo M., Mahowald N.M. Climate change impacts the spread potential of wheat stem rust, a significant crop disease. *Environmental Research Letters*, 2019, vol. 14, no. 12, p. 124053. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab57de>
 44. Razina A.A., Dyatlova O.G. Reduction of root rot harmful effect by agrobacground and seed treatment. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2015, no. 5, pp. 19-24.
 45. Rempelos L., Almuayrifi A.M., Baranski M., Tetard-Jones C., Eyre M., Shotton P., Cakmak I., Ozturk L., Cooper J., Volakakis N., Schmidt C., Sufar E., Wang J., Wilkinson A., Rosa E.A.S., Zhao B., Rose T.J., Leifert C., Bilsborrow P. Effects of agronomic management and climate on leaf phenolic profiles, disease severity, and grain yield in organic and conventional wheat production systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018, vol. 66 (40), pp. 10369-10379. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b02626>
 46. Rettie F.M., Gayler S., Tobias K.D., Weber T., Tesfaye K., Streck T. Climate change impact on wheat and maize growth in Ethiopia: A multi-model uncertainty analysis. *PLoS One*, 2022, vol. 17(1), no. e0262951. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262951>
 47. Rogojnikova E.S., Shpanev A.M., Fesenko M.A. Influence of fertilizers on the damage of spring barley by diseases in the IV agro-climatic zone Leningrad region. *Vestnik zashchityrasteniy*, 2016 vol. 4, no. 90, pp. 56–61.
 48. Różewicz M., Wyzińska M., Grabiński J. The Most important fungal diseases of cereals—problems and possible solutions. *Agronomy*, 2021, vol. 11, no. 4, pp. 714. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040714>
 49. Sharipova R. B., Khakimov R. A., Khakimova N. V. Influence of precurses and sowing date on overwintering and winter wheat productivity under changing regional conditions. *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*, 2020, vol. 15, no. 2, pp. 66-71. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2020-66-71>

50. Sharma-Poudyal D., Sharma R.C., Duveiller E. Control of *Helminthosporium* leaf blight of spring wheat using seed treatments and single foliar spray in Indo-Gangetic Plains of Nepal. *Crop Protect*, 2016, vol. 88, pp. 161–166. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.06.017>
51. Shivay Y.S., Pooniya V., Prasad R., Pal M., Bansal R. Sulphur-coated urea as a source of sulphur and an enhanced efficiency of nitrogen fertilizer for spring wheat. *Cereal Res Commun*, 2016, vol. 44, no. 3, pp. 513–523. <https://doi.org/10.1556/0806.44.2016.002>
52. Solovichenko V.D., Nikitin V.V., Karabutov A.P., Navolneva E.V. The impact of crop rotation, methods of tillage and fertilizers on the yield and economic performance of winter wheat. *Agrarian science*, 2018, no. 5, pp. 46–49.
53. Strygina K.V., Khlestkina E.K. Wheat, barley and maize genes editing using the CRISPR/Cas system. *Plant Biotechnology and Breeding*, 2020, vol. 3, no. 1, pp. 46–56. <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2020-1-o2>
54. Tadesse W., Bishaw Z., Assefa S. Wheat production and breeding in Sub-Saharan Africa: Challenges and opportunities in the face of climate change, *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 2019, vol. 11, no. 5, pp. 696–715. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-02-2018-0015>
55. Tuktarova N.G. impact of current climate change trends on the state of winter cereal crops. *Perm Agrarian Journal*, 2019, vol. 25, no. 1, pp. 80–86.
56. Váry Z., Mullins E., McElwain J.C., Dooan F.M. The severity of wheat diseases increases when plants and pathogens are acclimatized to elevated carbon dioxide. *Glob Chang Biol*, 2015, vol. 21, no. 7, pp. 2661–2669. <https://doi.org/10.1111/gcb.12899>
57. Wang B.X., Hof A.R., Ma C.S. Impacts of climate change on crop production, pests and pathogens of wheat and rice. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 2022, vol. 9, no. 1, pp. 4–18. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2021432>
58. Wang Y., Cheng X., Shan Q., Zhang Y., Liu J., Gao C., Qiu J.L. Simultaneous editing of three homoeoalleles in hexaploid bread wheat confers heritable resistance to powdery mildew. *Nature Biotechnology*, 2014, vol. 32, no. 9, pp. 947–951. <https://doi.org/10.1038/nbt.2969>
59. Wang W., Pan Q., He F., Akhunova A., Chao S., Trick H., Akhunov E. Transgenerational CRISPR-Cas9 Activity Facilitates Multiplex Gene Editing in Allopolyploid Wheat. *CRISPR J.*, 2018, vol.1, no. 1, pp. 65–74. <https://doi.org/10.1089/crispr.2017.0010>
60. Yang C., Fraga H., van Ieperen W. et al. Effects of climate change and adaptation options on winter wheat yield under rainfed Mediterranean conditions in

- southern Portugal. *Climatic Change*, 2019, vol. 154, no. 1, pp. 159–178. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02419-4>
61. Zhang Y., Bai Y., Wu G., Zou S., Chen Y., Gao C., Tang D. Simultaneous modification of three homoeologs of TaEDR1 by genome editing enhances powdery mildew resistance in wheat. *Plant Journal*, 2017, vol. 91, no. 4, pp. 714–724. <https://doi.org/10.1111/tpj.13599>
62. Zhao C., Liu B., Piao S., Wang X., Lobell D.B., Huang Y., Huang M., Yao Y., Bassu S., Ciais P., Durand J.L., Elliott J., Ewert F., Janssens I.A., Li T., Lin E., Liu Q., Martre P., Müller C., Peng S., Peñuelas J., Ruane A.C., Wallach D., Wang T., Wu D., Liu Z., Zhu Y., Zhu Z., Asseng S. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2017, vol. 114, no. 35, pp. 9326–9331. <https://doi.org/10.1073/pnas.1701762114>
63. Zhu J.H., Dong Y., Xiao J.X., Zhen Y., Tang L. Effects of N application on wheat powdery mildew occurrence, nitrogen accumulation and allocation in intercropping system. *Ying yong sheng tai xue bao = The journal of applied ecology*, 2017, vol. 28, no. 12, pp. 3985–3993. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.201712.029>

Список литературы

1. Алтухов А. И., Завалин А. А., Милащенко Н. З., Трушкин С. В. Проблема повышения качества пшеницы в стране требует комплексного решения // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 2. С. 32-39.
2. Asseng S., Ewert F., Martre P., et al. Rising temperatures reduce global wheat production // *Nature Clim Change*, 2015, vol. 5 no. 2, pp. 143–147. <https://doi.org/10.1038/nclimate2470>
3. Bajwa A. A., Farooq M., Al-Sadi A.M., Nawaz A., Jabran K., Siddique K.H.M. Impact of climate change on biology and management of wheat pests // *Crop Protection*, 2020, vol. 137, 105304. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105304>
4. Bao, X., Liu, X., Hou, X. *et al.* Single irrigation at the four-leaf stage in the spring optimizes winter wheat water consumption characteristics and water use efficiency // *Sci Rep*, 2022, vol. 12, 14257. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18446-8>
5. Белан И. А., Россеева Л. П., Григорьев Ю. П., Пахотина И. В. Высококачественный сорт пшеницы мягкой яровой Омская 44 для условий Западной Сибири и Омской области // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*, 2022. Т. 23, №. 2. С. 174-183. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.174-183>

6. Belaqziz S., Khabba S., Kharrou MH., Bouras EH., Er-Raki S., Chehbouni A. Optimizing the Sowing Date to Improve Water Management and Wheat Yield in a Large Irrigation Scheme, through a Remote Sensing and an Evolution Strategy-Based Approach // *Remote Sensing*, 2021, vol. 13, no. 18, 3789. <https://doi.org/10.3390/rs13183789>
7. Ben Omrane M. *Etude de mécanismes d'absorption et de remobilisation de l'azote afin de parvenir à la caractérisation de l'efficience de l'utilisation de l'azote chez le blé dur sous un stress biotique (la septoriose)* // *Mémoire (Master of science): CIHEAM-IAMM, Montpellier (France), 2020, pp. 68. (Master of Science: Professionnel, n. 969)*. http://www.iamm.ciheam.org/ress_doc/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=42265
8. Bencze S., Vida G., Balla K., Varga-László E., Veisz O. Response of wheat fungal diseases to elevated atmospheric CO₂ Level // *Cereal Res Commun*, 2013, vol. 41, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1556/CRC.2013.0021>
9. Blandino M., Badeck F.W., Giordano D., Marti A., Rizza F., Scarpino V., & Vaccino, P. Elevated CO₂ Impact on Common Wheat (*Triticum aestivum* L.) Yield, Wholemeal Quality, and Sanitary Risk // *Journal of agricultural and food chemistry*, 2020, vol. 68(39), pp. 10574–10585. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c02975>
10. Brauer E. K., Balcerzak M., Rocheleau H., Leung W., Scherthner J., Subramaniam R., Ouellet T. Genome Editing of a Deoxynivalenol-Induced Transcription Factor Confers Resistance to *Fusarium graminearum* in Wheat // *Molecular plant-microbe interactions: MPMI*, 2020, vol. 33, no. 3, pp. 553–560. <https://doi.org/10.1094/MPMI-11-19-0332-R>
11. Bryant R.R.M., Mcgrann G.R.D., Mitchell A.R., Schoonbeek H., Boyd L.A., Uauy C., Dorling S., Ridout C.J. A change in temperature modulates defence to yellow (stripe) rust in wheat line UC1041 independently of resistance gene Yr36. *BMC // Plant Biol*, 2014, vol.14, no.10. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-14-10>
12. Chekali S., Gargouri S., Berraies S., Gharbi M.S., Nicol M.J., Nasraoui B. Impact of *Fusarium* foot and root rot on yield of cereals in Tunisia // *Tunisian Journal of Plant Protection*, 2013, vol. 8, no. 2, pp. 75-86.
13. Dallagnol L.J., Ramos A.E. R., Dorneles K.d.R. Silicon use in the integrated disease management of wheat: current knowledge. in (ed.), current trends in wheat research // *IntechOpen*, 2020 <https://doi.org/10.5772/intechopen.95285>
14. Devadas R., Simpfendorfer S., Backhouse D., Lamb D.W. Effect of stripe rust on the yield response of wheat to nitrogen // *Crop J.*, 2014, vol. 2, pp. 201–206. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2014.05.002>

15. Diakite S., Pakina E., Zargar M., Aldaibe A. A.D., Denis P., Gregory L., Behzad A. Yield losses of cereal crops by *Fusarium* Link: A review on the perspective of biological control practices // Res. Crop, 2022, vol. 23, no. 2, pp. 418-436. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2022.057>
16. Eddine B.S., El Yousfi B., Douira A. Interaction of nitrogen fertilizers with wheat growth stage and foliar treatment with urea effects on WCR induced by *Fusarium culmorum* // Plant Archives, 2019, vol. 19, no.2, pp. 2829-2835.
17. Eddine B.S., El Yousfi B., Douira A. Effects of nitrogen forms and rates on *Fusarium culmorum* growth, fitness, aggressiveness and wheat, barley and triticale resistance to crown rot disease // Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology, 2020, vol. 21, pp. 107-129.
18. Eddine B.S., Douira A., El Yousfi B. Effets des engrais azotés sur le rendement du blé et de l'orge sous stress biotique dû à la pourriture sèche du collet induite par le *Fusarium culmorum* // Moroccan Journal of Agricultural Sciences, 2022, vol. 10(1) pp. 17-30.
19. Erenstein O., Jaleta M., Mottaleb K.A., Sonder K., Donovan J., Braun HJ. Global trends in wheat production, consumption and trade. In: Reynolds, M.P., Braun, HJ. (eds) wheat improvement, Springer Cham, 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90673-3_4
20. FAO. Quarterly Global Report: Crop Prospects and Food Situation. *FAO*, 2018. <http://www.fao.org/publications>
21. Gao H., Niu J., Liu W., Zhang D., Li S. Effect of wheat powdery mildew on grain nitrogen metabolism // The Journal of Agricultural Science, 2022, vol. 159, no. 1-2, pp. 128-138. <https://doi.org/10.1017/S0021859621000307>
22. Гаврилова А.Ю., Конова А.М., Самсонова Н. Е. Влияние доз и сочетаний минеральных удобрений на формирование урожайности и качества зерна пивоваренного ячменя в центральном нечерноземье // Агрехимия. 2020. № 9. С. 24–31. <https://doi.org/10.31857/S0002188120090069>
23. Geng X., Wang F., Ren W., Hao Z. Climate change impacts on winter wheat yield in Northern China // Advances in Meteorology, 2019, vol. 2019, pp. 1–12. <https://doi.org/10.1155/2019/2767018>
24. Ghafoor I., Habib-Ur-Rahman M., Ali M., Afzal M., Ahmed W., Gaiser T., Ghaffar A. Slow-release nitrogen fertilizers enhance growth, yield, NUE in wheat crop and reduce nitrogen losses under an arid environment // Environ Sci Pollut Res, 2021, vol. 28, no. 32, pp. 43528–43543. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13700-4>
25. Guo J., Jia Y., Chen H., Zhang L., Yang J., Zhang J., Hu X., Ye X., Li Y., Zhou Y. Growth, photosynthesis, and nutrient uptake in wheat are affected by differences

- in nitrogen levels and forms and potassium supply // Scientific reports, 2019, vol. 9(1), no. 1248. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37838-3>
26. Gupta N., Debnath S., Sharma S., Sharma P., Purohit J. Role of nutrients in controlling the plant diseases in sustainable agriculture. In: Meena, V., Mishra, P., Bisht, J., Pattanayak, A. (eds) *Agriculturally important microbes for sustainable agriculture*. Springer, Singapore, 2017. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5343-6_8
27. IPPC Secretariat. *Scientific review of the impact of climate change on plant pests – A global challenge to prevent and mitigate plant pest risks in agriculture, forestry and ecosystems*. Rome. FAO on behalf of the IPPC Secretariat, 2021. <https://doi.org/10.4060/cb4769en>
28. Jalli M., Huusela E., Jalli H., Kauppi K., Niemi M., Himanen S., Jauhiainen L. Effects of Crop Rotation on Spring Wheat Yield and Pest Occurrence in Different Tillage Systems: A Multi-Year Experiment in Finnish Growing Conditions // *Front. Sustain. Food Syst.*, 2021, vol. 5, pp. 647335. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.647335>
29. Кекало А.Ю., Заргарян Н.Ю., Филиппов А.С., Немченко В.В. Эффективность применения фунгицидов для защиты яровой пшеницы от корневых гнилей // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2019. Т. 49, № 3. С. 24-30. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2019-3-3>
30. Kourat T., Smadhi D., Madani A. Modeling the Impact of Future Climate Change Impacts on Rainfed Durum Wheat Production in Algeria // *Climate*, 2022, vol.10, no. 4, 50. <https://doi.org/10.3390/cli10040050>
31. Левитин М.М. Микроорганизмы в условиях глобального изменения климата // *Сельскохозяйственная биология*. 2015. Т. 50, №. 5. С. 641-647. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2015.5.641rus>
32. Luo C., Ma L., Zhu J., Guo Z., Dong K., Dong Y. Effects of nitrogen and intercropping on the occurrence of wheat powdery mildew and stripe rust and the relationship with crop yield // *Front. Plant Sci.*, 2021, vol. 12, no. 637393. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.637393>
33. Lyu X., Liu Y., Li N., Ku L., Hou Y., Wen X. Foliar applications of various nitrogen (N) forms to winter wheat affect grain protein accumulation and quality via N metabolism and remobilization // *The Crop Journal*. 2022, vol. 10, pp. 1165–1177. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2021.10.009>
34. MAPM. *L'agriculture marocaine en chiffres 2017, édition 2018* // Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime (MAPM), 2017. <http://www.agriculture.gov.ma/sites/default/files/AgricultureEnChiffre2017VAVF.pdf>
35. Marini L., St-Martin A., Vico G., Baldoni G., Berti A., Blecharczyk A., et al. Crop rotations sustain cereal yields under a changing climate // *Environ. Res.*

- Lett., 2020, vol. 15, no. 12, pp. 124011. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abc651>
36. Matic S., Cucu M.A., Garibaldi A., Gullino M.L. Combined effect of CO₂ and temperature on wheat powdery mildew development // *The plant pathology journal*, 2018, vol. 34, no. 4, pp. 316–326. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.11.2017.0226>
 37. Miedaner T., Juroszek P. Climate change will influence disease resistance breeding in wheat in Northwestern Europe // *Theor Appl Genet*, 2021, vol. 134, no. 6, pp. 1771–1785. <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03807-0>
 38. Navarro C. E., Lam S.K., Trębicki P. Elevated carbon dioxide and nitrogen impact wheat and its aphid pest // *Frontiers in plant science*, 2020, vol. 11, no. 605337. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.605337>
 39. Nazari M., Mirgol B., Salehi H. climate change impact assessment and adaptation strategies for rainfed wheat in contrasting climatic regions of Iran // *Front. Agron*, 2021, vol. 3, no. 806146. <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.806146>
 40. Nuttall J., Brady S., Brand J., O’Leary G., Fitzgerald GJ. Heat waves and wheat growth under a future climate. In *The 16th Australian Agronomy Conference: Climate Change*, pp. 14-18. http://www.regional.org.au/au/asa/2012/climate-change/8085_nuttalljg.htm
 41. Olesen J., Jørgensen L., Petersen J., Mortensen J. Effects of rate and timing of nitrogen fertilizer on disease control by fungicides in winter wheat. 1. Grain yield and foliar disease control // *The Journal of Agricultural Science*, 2003, vol. 140, no. 1, pp. 1-13. <https://doi.org/10.1017/S0021859602002885>
 42. Park, R.F., Golegaonkar, P.G., Derevnina, L., Sandhu, K. S., Karaoglu, H., Elmansour, H.M., Dracatos, P.M., Singh, D. Leaf rust of cultivated barley: pathology and control // *Annual review of phytopathology*, 2015, vol. 53(1), pp. 565–589. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080614-120324>
 43. Prank M., Kenaley S.C., Bergstrom G.C., Acevedo M., Mahowald N.M. Climate change impacts the spread potential of wheat stem rust, a significant crop disease // *Environmental Research Letters*, 2019, vol. 14, no. 12, p. 124053. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab57de>
 44. Разина А.А., Дятлова О.Г. Влияние агрофона и протравливания семян яровой пшеницы на снижение вредоносности корневой гнили // *Сибирский Вестник Сельскохозяйственной Науки*. 2015. № 5. С. 19-24.
 45. Rempelos L., Almuayrifi A.M., Baranski M., Tetard-Jones C., Eyre M., Shotton P., Cakmak I., Ozturk L., Cooper J., Volakakis N., Schmidt C., Sufar E., Wang J., Wilkinson A., Rosa E.A.S., Zhao B., Rose T.J., Leifert C., Bilsborrow P. Effects of agronomic management and climate on leaf phenolic profiles, disease

- severity, and grain yield in organic and conventional wheat production systems // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018, vol. 66 (40), pp. 10369–10379. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b02626>
46. Rettie F.M., Gayler S., Tobias K.D., Weber T., Tesfaye K., Streck T. Climate change impact on wheat and maize growth in Ethiopia: A multi-model uncertainty analysis // *PloS one*, 2022, vol. 17(1), no. e0262951. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262951>
47. Рогожникова Е.С., Шпанев А.М., Фесенко М.А. Влияние удобрений на поражение ярового ячменя болезнями в IV агроклиматической зоне Ленинградской области // *Вестн. защиты раст.* 2016. Т. 4, № 90. С. 56–61.
48. Rózewicz M., Wyzińska M., Grabiński J. The Most important fungal diseases of cereals-problems and possible solutions // *Agronomy*, 2021, vol. 11, no. 4, pp. 714. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040714>
49. Шарипова Р. Б., Хакимов Р. А., Хакимова Н. В. Влияние предшественников и сроков сева на перезимовку и урожайность озимой пшеницы в изменяющихся условиях регионального климата // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2020. Т. 15. № 2. С. 66-71. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2020-66-71>
50. Sharma-Poudyal D., Sharma R.C., Duveiller E. Control of *Helminthosporium* leaf blight of spring wheat using seed treatments and single foliar spray in Indo-Gangetic Plains of Nepal // *Crop Protect*, 2016, vol. 88, pp. 161–166. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.06.017>
51. Shivay Y.S., Pooniya V., Prasad R., Pal M., Bansal R. Sulphur-coated urea as a source of sulphur and an enhanced efficiency of nitrogen fertilizer for spring wheat // *Cereal Res Commun*, 2016, vol. 44, no. 3, pp. 513–523. <https://doi.org/10.1556/0806.44.2016.002>
52. Соловиченко В.Д., Никитин В.В., Карабутов А.П., Навольнева Е.В. Влияние севооборотов, способов обработки почв и удобрений на урожайность и экономические показатели производства пшеницы озимой // *Аграрная наука*. 2018. №5. С. 46-49.
53. Стрыгина К.В., Хлесткина Е.К. Редактирование генов пшеницы, ячменя и кукурузы с использованием системы CRISPR/Cas // *Биотехнология и селекция растений*. 2020. Т. 3, № 1. С. 46-56. <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2020-1-02>
54. Tadesse W., Bishaw Z., Assefa S. Wheat production and breeding in Sub-Saharan Africa: Challenges and opportunities in the face of climate change // *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 2019, vol. 11, no. 5, pp. 696-715. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-02-2018-0015>

55. Туктарова Н. Г. Влияние современных тенденций изменения климата на урожайность озимых зерновых культур // Пермский аграрный вестник. 2019. Т. 25, № 1. С. 80–86.
56. Váry Z., Mullins E., McElwain J.C., Doohan F.M. The severity of wheat diseases increases when plants and pathogens are acclimatized to elevated carbon dioxide // *Glob Chang Biol*, 2015, vol. 21, no. 7, pp. 2661-2669. <https://doi.org/10.1111/gcb.12899>
57. Wang B.X., Hof A.R., Ma C.S. Impacts of climate change on crop production, pests and pathogens of wheat and rice // *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 2022, vol. 9, no. 1, pp. 4-18. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2021432>
58. Wang Y., Cheng X., Shan Q., Zhang Y., Liu J., Gao C., Qiu J.L. Simultaneous editing of three homoeoalleles in hexaploid bread wheat confers heritable resistance to powdery mildew // *Nature Biotechnology*, 2014, vol. 32, no. 9, pp. 947-951. <https://doi.org/10.1038/nbt.2969>
59. Wang W., Pan Q., He F., Akhunova A., Chao S., Trick H., Akhunov E. Transgenerational CRISPR-Cas9 Activity Facilitates Multiplex Gene Editing in Allopolyploid Wheat // *CRISPR J.*, 2018, vol.1, no. 1, pp. 65–74. <https://doi.org/10.1089/crispr.2017.0010>
60. Yang C., Fraga H., van Ieperen W. et al. Effects of climate change and adaptation options on winter wheat yield under rainfed Mediterranean conditions in southern Portugal // *Climatic Change*, 2019, vol. 154, no. 1, pp. 159–178. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02419-4>
61. Zhang Y., Bai Y., Wu G., Zou S., Chen Y., Gao C., Tang D. Simultaneous modification of three homoeologs of TaEDR1 by genome editing enhances powdery mildew resistance in wheat // *Plant Journal*, 2017, vol. 91, no. 4, pp. 714-724. <https://doi.org/10.1111/tpj.13599>
62. Zhao C., Liu B., Piao S., Wang X., Lobell D.B., Huang Y., Huang M., Yao Y., Bassu S., Ciais P., Durand J.L., Elliott J., Ewert F., Janssens I.A., Li T., Lin E., Liu Q., Martre P., Müller C., Peng S., Peñuelas J., Ruane A.C., Wallach D., Wang T., Wu D., Liu Z., Zhu Y., Zhu Z., Asseng S. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2017, vol. 114, no. 35, pp. 9326–9331. <https://doi.org/10.1073/pnas.1701762114>
63. Zhu J.H., Dong Y., Xiao J.X., Zhen Y., Tang L. Effects of N application on wheat powdery mildew occurrence, nitrogen accumulation and allocation in intercropping system // *Ying yong sheng tai xue bao = The journal of applied ecology*, 2017, vol. 28, no. 12, pp. 3985–3993. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.201712.029>

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Simbo Diakite: data collection and analysis, writing of the manuscript.

Elena N. Pakina: study conception, editing of the draft of the manuscript.

Abdullah Behzad: data collection and analysis.

Meisam Zargar: study conception, editing of the draft of the manuscript.

Francess Sia Saquee: study conception, editing of the draft of the manuscript.

Elena V. Kalabashkina: data collection and analysis.

Vitaliya A. Tsymbalova: data collection and analysis.

Tamara S. Astarkhanova: study conception.

ВКЛАД АВТОРОВ

Диаките С.: сбор и анализ данных, написание рукописи.

Пакина Е.Н.: концепция исследования, редактирование черновика рукописи.

Бехзад А.: сбор и анализ данных.

Заргар М.: концепция исследования, редактирование черновика рукописи.

Саки Ф.С.: концепция исследования, редактирование черновика рукописи.

Калабашкина Е.В.: сбор и анализ данных.

Цымбалова В.А.: сбор и анализ данных.

Астарханова Т.С.: концепция исследования.

DATA ABOUT THE AUTHOR

Simbo Diakite, Doctoral Student of Plant Protection, Department of Agrobiotechnology Agrarian Technological Institute

Peoples' Friendship University of Russia

8, Miklukho-Maklaya Str., Moscow, 117198, Russian Federation

1042215234@pfur.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1462-1329>

Scopus ID: 57605101300

Elena N. Pakina, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of Crop Protection, Department of Agrobiotechnology Agrarian Technological Institute

Peoples' Friendship University of Russia

8, Miklukho-Maklaya Str., Moscow, 117198, Russian Federation

e-pakina@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6493-6121>

Scopus ID: 56805238100

Abdullah Behzad, Doctoral Student of Plant Protection, Department of Agrobiotechnology Agrarian Technological Institute
Peoples' Friendship University of Russia
8, Miklukho-Maklaya Str., Moscow, 117198, Russian Federation
abd.behzad2@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0454-9941>
Scopus ID: 57823191400

Meisam Zargar, Associate Professor of Crop Protection, Department of Agrobiotechnology Agrarian Technological Institute
Peoples' Friendship University of Russia
8, Miklukho-Maklaya Str., Moscow, 117198, Russian Federation
zargar_m@rudn.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5208-0861>
Scopus ID: 57203177348

Francess Sia Saquee, Doctoral Student of Plant Protection, Department of Agrobiotechnology Agrarian Technological Institute
Peoples' Friendship University of Russia
8, Miklukho-Maklaya Str., Moscow, 117198, Russian Federation
fransia662@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7653-6942>

Elena V. Kalabashkina, Candidate of Agricultural Sciences
Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center "Nemchinovka"
6, Agrokhimikov Str., Novoivanovskoye, Odintsovo, Moscow region, 143026, Russian Federation
kalabashkina@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7952-1842>

Vitaliya A. Tsymbalova, Research Scientist
Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center "Nemchinovka"
6, Agrokhimikov Str., Novoivanovskoye, Odintsovo, Moscow region, 143026, Russian Federation
agronom-msha@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8946-5485>

Tamara S. Astarkhanova, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Department of Agrobiotechnology Agrarian Technological Institute
Peoples' Friendship University of Russia
8, Miklukho-Maklaya Str., Moscow, 117198, Russian Federation
tamara-ast@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1431-9309>
Scopus ID: 57194946276

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Диаките Симбо, аспирант по защите растений, Агробиотехнологический департамент, Аграрно-технологический институт
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 8, г. Москва, 117198, Российская Федерация
1042215234@pfur.ru,

Пакина Елена Николаевна, кандидат биологических наук, доцент, Агробиотехнологический департамент, Аграрно-технологический институт
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 8, г. Москва, 117198, Российская Федерация
e-pakina@yandex.ru

Бехзад Абдулла, аспирант по защите растений, Агробиотехнологический департамент, Аграрно-технологический институт
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 8, г. Москва, 117198, Российская Федерация
abd.behzad2@gmail.com

Заргар Мейсам, доцент по защите растений, Агробиотехнологический департамент, Аграрно-технологический институт
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 8, г. Москва, 117198, Российская Федерация
zargar_m@rudn.ru

Саки Фрэнсис Сиа, аспирант по защите растений, Агробиотехнологический департамент, Аграрно-технологический институт
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 8, г. Москва, 117198, Российская Федерация
fransia662@gmail.com

Калабашкина Елена Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»
ул. Агрехимиков, 6, гп Одинцово, рп Новоивановское, Московская
область, 143026, Российская Федерация
kalabashkina@gmail.com,*

Цымбалова Виталия Александровна, научный сотрудник
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»
ул. Агрехимиков, 6, гп Одинцово, рп Новоивановское, Московская
область, 143026, Российская Федерация
agronom-msha@yandex.ru*

Астарханова Тамара Саржановна, доктор сельскохозяйственных наук,
профессор, Агробиотехнологический департамент, Аграрно-техно-
логический институт
*Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 8, г. Москва, 117198, Российская Федерация
tamara-ast@mail.ru*

Поступила 06.10.2022

После рецензирования 05.11.2022

Принята 21.11.2022

Received 06.10.2022

Revised 05.11.2022

Accepted 21.11.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-337-362

УДК 338.43.02



Обзорная статья

ЗЕЛЕНАЯ ТАКСОНОМИЯ АГРАРНО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ: ТЕКУЩИЙ СТАТУС И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ

*О.Н. Тарасова, Н.А. Проданова,
Ю.К. Харакоз, Н.Д. Георгадзе*

Автором проведен комплексный анализ системы мер стимулирования и поддержки АПК; подчеркнуто, что такие меры должны опираться (и уже опираются в значительной степени) на принципы современных подходов управления профильными отраслями. Один из таких основополагающих принципов – использование принципов ESG-повестки - стратегии и методов зеленой таксономии. В данной работе детально рассмотрены принципы и инструментарий зеленой таксономии в сельском хозяйстве, представлены ее актуальные направления, в том числе на основе систематического и комплексного изучения векторов государственной поддержки, ресурсосбережения таких ключевых составных частей окружающей среды как воздух, вода и почва. Данное исследование является актуальным ввиду растущего глобального внимания к переориентации государственной поддержки сельского хозяйства для преобразования сельскохозяйственных и продовольственных систем в интересах улучшения здоровья людей, экономики и планеты, обеспечения продовольственной безопасности, соответствия принципам ESG. В статье указано, что только благоприятная среда с необходимой приверженностью последовательности государственного управления в этой сфере, новая правовая база, дополнительные финансовые ресурсы и вспомогательные структуры на местах приведут к поддержке уже активно начатой зеленой трансформации агропродовольственной системы страны.

Обоснование. *Агропромышленный комплекс российской экономики традиционно – на протяжении многих лет, находится в центре политико-экономической повестки в нашей стране. Властные институты различных уровней, включая, прежде всего Президента и Правительство РФ, а также органы власти субъектов Федерации уделяют повышенное внимание регулированию и поддержке этой сферы. И это не случайно: вопрос стабильного развития*

АПК напрямую связан с аспектами национальной продовольственной безопасности – ключевого фактора функционирования всего макроэкономического комплекса страны, благополучия и стабильности жизни населения.

Цель. *Целью данной работы является выявление и анализ эффективности комплекса мер, предпринимаемых на государственном уровне для стимулирования и развития «зеленой повестки» агропромышленного комплекса Российской Федерации.*

Материалы и методы исследования. *При написании статьи были использованы законодательные и нормативные акты РФ, аналитические обзоры ведущих российских и международных сообществ, данные Росстата, экспертные мнения специалистов в конкретных профильных областях, данные материалов периодической печати, труды российских и зарубежных ученых в области сельского хозяйства. В ходе исследования были использованы аналитический и эмпирический подходы к решению поставленных задач, абстрактно-логические методы структурирования информации, системный и комплексный анализ имеющихся информационных массивов данных, а также общенаучные логические приемы и методы изучения.*

Результаты. *Исследование выявило текущие предпосылки и доказало имеющийся потенциал в разрезе приоритетов развития для достижения целей устойчивого развития сельскохозяйственными организациями, особенно при всесторонней вовлеченности различных уровней управления и отраслей экономики.*

Ключевые слова: *ESG-стратегия; зеленая таксономия; устойчивое развитие; сельское хозяйство; меры поддержки*

Для цитирования. *Тарасова О.Н., Проданова Н.А., Харакоз Ю.К., Георгадзе Н.Д. Зеленая таксономия аграрно-промышленного комплекса России: текущий статус и направления развития // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №2. С. 337-362. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-337-362*

Scientific review

GREEN TAXONOMY OF THE RUSSIAN AGRICULTURAL COMPLEX: CURRENT STATUS AND DIRECTIONS OF DEVELOPMENT

***O.N. Tarasova, N.A. Prodanova,
Yu.K. Kharakoz, N.D. Georgadze***

A comprehensive analysis of the system of measures to stimulate and support the agro-industrial complex was carried out by the author; it was emphasized that

such measures should be based (and are already rely to a large extent) on the principles of modern approaches to managing core industries. One of these fundamental principles is the use of the principles of the ESG agenda - green taxonomy strategies and methods. There are the principles and tools of green taxonomy in agriculture considered in detail in this paper; its current directions are presented, including on the basis of a systematic and comprehensive study of vectors of state support, resource conservation of such key components of the environment as air, water and soil. This study is important in understanding the growing global interest in reorienting public support for agriculture to transform agricultural and food systems into health-enhancing activities, Economy and planet, ensuring food safety, compliance with ESG principles. The article states that only an enabling environment with the necessary commitment to consistency of public administration in this area, a new legal framework, additional financial resources and local support structures will support the green transformation of the of the country's agro-industrial system, which has already begun.

Background. *The agro-industrial complex of the Russian economy has traditionally been at the center of the political and economic agenda in our country for many years. Power and legislative institutions of various levels, including, first of all, the President and the Government of the Russian Federation, as well as the authorities of the subjects of the Federation, pay increased attention to the regulation and support of this sphere. And this is no coincidence because of the stable development issue of the agro-industrial complex is directly related to aspects of national food security – is a key factor in the functioning of the entire macroeconomic complex of the country, the well-being and stability of the population's life.*

Purpose. *The purpose of this work is to identify and analyze the effectiveness of a set of measures taken at the state level to stimulate and develop the “green agenda” of the Russian agro-industrial complex.*

Materials and methods. *The legislative and regulatory acts of the Russian Federation, analytical reviews of leading Russian and international communities, Rosstat data, expert opinions of specialists in specific specialized areas, data from periodicals, works of Russian and foreign scientists in the field of agriculture were used during the preparation and writing the article. Analytical and empirical approaches to solving the tasks were used, abstract-logical methods of structuring information, systematic and complex analysis of existing information arrays of data, as well as general scientific logical approaches and methods of study were involved in the course of the research.*

Results. *The present study revealed the current prerequisites and proved the existing potential in terms of development priorities tin order achieve the goals of*

sustainable development by agricultural entities, especially with the full involvement of various levels of governance and sectors of the economy.

Keywords: *ESG-strategy; green taxonomy; sustainable development; agriculture; support measures*

For citation. *Tarasova O.N., Prodanova N.A., Kharakoz Yu.K., Georgadze N.D. Green Taxonomy of the Russian Agricultural Complex: Current Status and Directions of Development. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 337-362. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-337-362*

Введение

Для того чтобы считаться устойчивым и динамично развивающимся, сельское хозяйство в современной системе экономических отношений должно удовлетворять потребности настоящего и будущих поколений, обеспечивая как извлечение прибыли, так и поддержание здоровья окружающей среды и социально-экономическое равенство и доступность качественной продукции для потребителя [18]. Устойчивое производство продовольствия и ведение сельского хозяйства способствует улучшению четырех основных компонентов продовольственной безопасности – наличия, доступности, использования и стабильности – во всех трех измерениях устойчивости: экологическом, социальном и экономическом [20]. При этом упор в современных условиях делается в значительной степени на формировании и поддержании структур и систем органического сельского хозяйства. Данная форма организации систем хозяйствования определена Международной конфедерацией движений за органическое сельское хозяйство (IFOAM) как производственная система, которая улучшает экосистему, сохраняет плодородие почвы и защищает здоровье человека [30, 13; 17].

Это практика ведения хозяйства, которая, принимая во внимание местные условия и, опираясь на экологические циклы, сохраняется биологическое разнообразие, используя, как правило, натуральные компоненты, не оказывающие вред окружающей среде [15, 31; 26]. В этой связи отличные эффекты может иметь использование стратегии и применение методов зеленой таксономии – как практической реализации принципов органического сельского хозяйства [22].

Материалы и методы исследования

При написании статьи были использованы законодательные и нормативные акты РФ, аналитические обзоры ведущих российских и международных сообществ, данные Росстата, экспертные мнения специалистов в конкрет-

ных профильных областях, данные материалов периодической печати, труды российских и зарубежных ученых в области сельского хозяйства.

В ходе исследования были использованы аналитический и эмпирический подходы к решению поставленных задач, абстрактно-логические методы структурирования информации, системный и комплексный анализ имеющихся информационных массивов данных, а также общенаучные логические приемы и методы изучения.

Результаты исследования

«Зеленая» повестка – более чем востребованный тренд в общественном сознании, а зачастую – и социальном поведении граждан.

Согласно данным опроса, проведенным Россельхозбанком в конце 2021 года, около 81% российских граждан проявляют желание жить в сельской местности. При этом около половины из них готовы переехать в выбранные ими регионы и постоянно проживать на их территории. Показательно, что важным фактором, определяющим выбор респондентов, явилось стремление к пребыванию в хороших экологических условиях и возможность потребления качественных продуктов питания. Кроме того, почти каждый второй опрошенный выразил желание приобрести дом за городом, а каждый четвертый сообщил о его наличии. К сожалению, сделать аграрную профессию своей основной деятельностью согласилось лишь около 8% опрошенных. Однако, среди молодого населения страны почти 70% высказались за стремление завести на своем участке животных, потребляемых в пищу.

Это означает, что доступ к качественной агропромышленной продукции – один из приоритетов формирования принципов и жизненных ценностей больших групп населения, а сама «агропромышленная тематика» находится в центре внимания граждан. [22, 40; 28; 21]

Агропромышленный комплекс России в последние годы демонстрирует такие уровни показателей, которые наглядно характеризуют восходящий тренд (рис.1). Общий объем производимой сельскохозяйственной продукции вырос за анализируемый период с 2019 по 2022 год на 30,53%, при этом рост за 2021 год составил около 17%. При этом лидирующие позиции принадлежат растениеводству, как приоритетному направлению ESG-политики мирового сообщества, что подтверждается ростом объемов продукции за исследуемый период на 43,4 %, а за 2021 год – на 21,3%.

Этому факту, очевидно, способствовали, прежде всего, меры государственной поддержки сельскохозяйственного сектора.

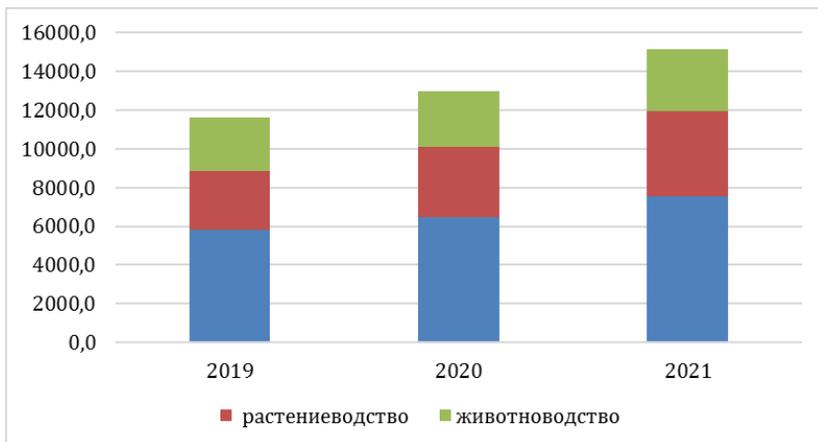


Рис. 1. Динамика объемов производства сельскохозяйственной продукции в Российской Федерации за период 2019-2021 годы, млрд. руб. (*составлено автором по данным Росстата), [35]

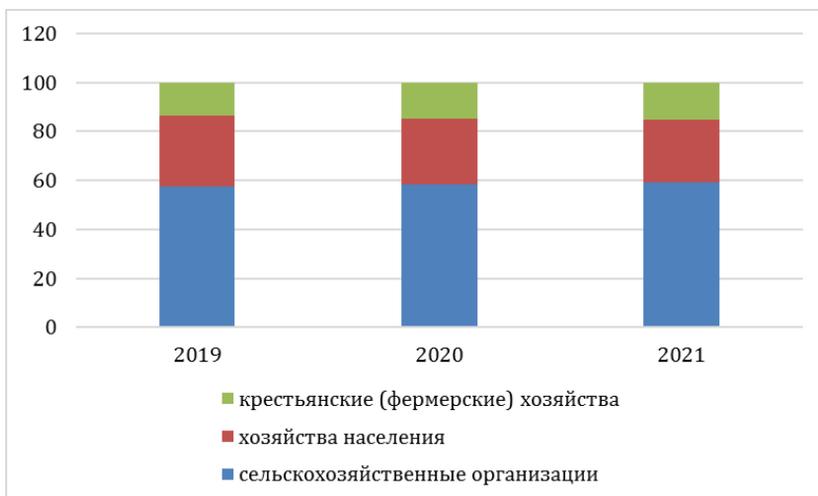


Рис. 2. Динамика структуры продукции сельского хозяйства по категориям хозяйств в Российской Федерации за период 2019-2021 годы, % (*составлено автором по данным Росстата), [35]

Органическое сельское хозяйство поддерживает экологическое равновесие и рационально использует природные ресурсы, перекликаясь во

многим с принципами устойчивого развития, так как повышают биоразнообразие экосистем и качественные характеристики почвы, сокращают загрязнение окружающей среды за счет строгих ограничений по использованию химических удобрений и СЗР, а также утилизируют и компостируют органические отходы. Более того в ОСХ существует гарантированная маркировка и сертификация, обеспеченная контролем третьими лицами за соблюдением принципов и требований. Согласно отчету Research And Markets, объем мирового рынка органического земледелия вырастет с 95,4 млрд USD в 2019 году до 151,4 млрд USD в 2025 году при среднегодовом темпе роста 10%. Главным драйвером роста данного рынка выступают экологические выгоды, получаемые в результате перехода к органическому сельскому хозяйству. [2,23]

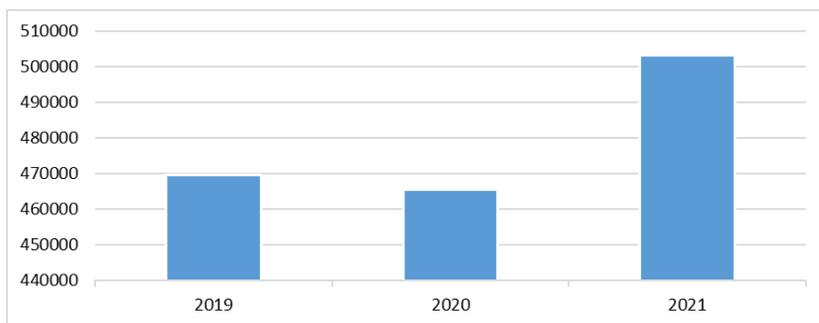


Рис. 4. Динамика инвестиций в основной капитал сельскохозяйственных организаций в Российской Федерации за период 2019-2021 годы, млрд. руб. (*составлено автором по данным Росстата), [35]

В условиях быстро изменившейся макроэкономической среды создались серьезные проблемы для политиков, стремящихся избежать рецессии и инфляции, а также повысить рост производительности и предотвратить опасное изменение климата и деградацию окружающей среды. Государственная поддержка, способствующая ускорению чистых инвестиций, лучше всего подходит для решения проблем нынешней глобальной экономической среды, в частности медленного роста производительности, повышения конкурентоспособности и учета рисков и возможностей, связанных с быстрыми технологическими, экологическими и социальными изменениями. [32]

Так, за 2021 год наблюдается рост инвестиций в основной капитал, направленных на развитие сельского хозяйства (за исключением субъектов

малого и среднего бизнеса) на 8% (рис. 4). При этом 60,5% – это собственные средства сельскохозяйственных организаций, и только 39,5% – привлеченные.

Владимир Владимирович Путин на Петербургском международном экономическом форуме (ПМЭФ) отметил назревшую необходимость стимулирования с помощью современных механизмов, основанных на субсидировании государством, таких как «зеленые» облигации, крупных проектов модернизации инфраструктуры. Современный рынок облигаций претерпевает глубокую трансформацию, поскольку институциональных инвесторов все больше привлекает множество новых финансовых инструментов, таких как зеленые облигации, связанные с устойчивым развитием, социальные и переходные облигации. Это развитие событий является частью более широких усилий ESG по использованию частных и государственных источников для финансирования устойчивых инвестиций, сокращения выбросов парниковых газов, сокращения социального неравенства, смягчения гендерного неравенства и поддержки восстановления экономики. Следует отметить, что эксперты соглашаются с тем, данная мера поддержки от государства позволит усилить приток средств инвесторов в проекты, в том числе реализуемые сельскохозяйственными организациями. [12, 16]. Сельское хозяйство, с одной стороны, очень уязвимо к изменению климата, и в то же время само является фактором такого изменения: то, как оно ведется сейчас, также является одним из векторов воздействия на климат и показатели деградации базы природных ресурсов. [21]. Нынешняя агропродовольственная система связана со значительными «скрытыми затратами», которые становятся все более очевидными [14]. Например, на его долю приходится около трети общего объема антропогенных выбросов парниковых газов. Сельскохозяйственное производство и дополнительные земли, вовлекаемые в сельскохозяйственное производство, оказывают огромное воздействие на окружающую среду – на них приходилось 22% от общего объема выбросов в 2018 году, то есть две трети выбросов агропродовольственного сектора, а остальная часть приходится на до- и пост- производственной деятельности, но только около 4% мирового ВВП. Около 31% внутрихозяйственных выбросов связано с переустройством земель для сельскохозяйственных целей. [23]

Хотя исторический вклад расширения земель в увеличение производства продуктов питания может показаться относительно небольшим, он оказывает огромное воздействие на окружающую среду. За последние 60 лет площадь сельскохозяйственных угодий увеличилась всего на 7%, при

этом посевные площади увеличились на 15 % и пастбищ только на 2 %. Тем не менее, в сельское хозяйство были вовлечены значительные 309 млн га (205 млн га в растениеводство и 104 млн га в пастбища для животноводства). Это преобразование произошло за счет естественной среды обитания, особенно лесов, которые являются плотными хранилищами углерода. [1,7, 31]

Сегодня со стороны отечественных государственных органов ведется активная работа по разработке и внедрению «зеленых» стандартов – в том числе и в сфере сельскохозяйственного производства. Министерствами и ведомствами разработан и утвержден ряд «зеленых» стандартов», применение которых будет способствовать достижению 17 целей Устойчивого развития, принятых еще в 2015 году государствами-членами ООН.

Россельхозбанк впервые в нашей стране составил ESG-рейтинг агропромышленного комплекса регионов России. В основу исследования был положен комплексный метод линейного анализа данных, что позволило выявить лидирующей субъекты федерации по состоянию на 2021 год. Ценность указного исследования представлена открытыми перспективами по прогнозированию социально-экологического развития в регионах страны, анализу и контролю с помощью ESG-мониторинга сегментов развития АПК в каждом регионе страны.

Как сообщили организаторы рейтинга, в его основу положен целый ряд системных факторов и показателей развития экологического, социального и корпоративного порядка – все это на региональном уровне. Также в основу оценки были положены показатели эффективности и активности реализации природоохранных мер, уровень экологической нагрузки на различные сегменты аграрной инфраструктуры, уровень заработной платы в секторе АПК, объемы затрат на финансирование сельских территорий. Что подтверждает слова главы Россельхозбанка Бориса Листова о становлении у отечественного сельского хозяйства признаков ESG-ориентации. [33]

Победителем рейтинга по итогам 2021 года стала Республика Адыгея, за ней расположилась Калининградская область, третью строчку заняла Тульская область. С точки зрения наиболее благоприятной экологической обстановки победителем стала Калининградская область; также по этому показателю с рейтинг вошли Пермский край и Санкт-Петербург. По показателю уровня социального развития в АПК организаторы выделили Москву, Республику Адыгею и Белгородскую область. С точки зрения эффективности государственного управления тройку лидеров составили Санкт-Петербург, Магаданская область и Москва.

Результаты проведенного исследования позволяют решить целый ряд задач, среди которых выявление наиболее актуальных тенденций социально-экологического и аграрного развития в регионах, результативность инвестиций в проекты по изменению в положительную сторону экологического состояния сельскохозяйственных ресурсов [29]. Данный рейтинг в условиях развития и важности ESG-повестки стал показателем успешности функционирования развития АПК в каждом регионе страны.

Следование ESG-повестке – один из результатов введения в действие в России единого государственного реестра производителей сельхозпродукции и продовольствия, а также промышленной и иной продукции с улучшенными характеристиками (начиная с 1.09.2022). Данный реестр будет иметь основной целью бесплатное информирование населения страны о наличии улучшенных качественных характеристик, прежде всего, у отдельных видов сельхозпродукции, и применяться до 1.09.2028 года.

Введение данного реестра – лишь одно из нововведений специального закона по этой проблематике, разработка которого началась еще в 2020 году.

Согласно документу, вводящему понятие улучшенных характеристик сельхозпродукции и продовольствия, отличия «улучшенных» продуктов от стандартных продуктов питания более чем заметны. Так, в продуктах, которые должны соответствовать новому правовому режиму и требованиям запрещено использовать генномодифицированные составные элементы, применять при производстве ионизирующее излучение, существенные ограничения накладываются на применение антибиотиков и химических составов, прежде всего пестицидов. Согласно документу, при выращивании агрокультур и создании сельскохозяйственной продукции будут внедрены механизмы поощрения использования агропромышленных технологий, оказывающих низкое негативное воздействие на окружающую среду. [10] Один из активно используемых регуляторно-правовых инструментов стимулирования развития зеленых технологий – соответствующая маркировка продукции. Так, Минсельхоз России, являясь правообладателем товарного знака «Зеленый эталон», предполагает его внедрение в процессе маркировки продукции улучшенного качества после завершения соответствующих процедур по сертификации продукции аккредитованным органом по сертификации — Роскачеством.

Внедрение этого знака позволяет не только формировать базу соответствующих требованиям производителей, но и задавать высокую технологическую и экологическую планку для многих видов продукции. Получить данный знак могут только производители, использующие минимально

воздействующие на окружающую среду технологии; приветствуется использование повторно перерабатываемых и биоразлагаемых упаковочных материалов. При этом запрещено использовать клонирование и методы генной инженерии, разрушающее излучение (в том числе ионизирующее) при применении методов обработки и сохранения продукции.

Другое заметное мероприятие государственного стимулирования развития направления зеленой трансформации сельского хозяйства является разработка Россельхознадзором федеральной государственной информационной программы прослеживаемости пестицидов и агрохимикатов «Сатурн», приоритетной задачей которой является мониторинг оборота указанных веществ до их внедрения в сельхозугодия. Законодательно закрепленная обязанность по внесению информации в базу «Сатурн» возникает с 1 сентября 2022 года у производителей пестицидов и агрохимикатов, импортеров, лиц, обеспечивающих их хранение и транспортировку, утилизацию и, конечно, применяющих в целях выращивания сельскохозяйственной продукции. [34] Одна из актуальных тенденций – усиление в настоящее время спроса на «зеленые» продукты питания, выращенные без применения пестицидов. Для жителей городов это сопряжено с определенными барьерами и сложностями, прежде всего - ограниченным предложением таких продуктов. Для России данное понятие является совершенно новым, а, как отмечают аналитики, количество сертифицированных фермеров, работающих в данном направлении, не достигло и сотни.

Одним из путей решения проблемы и потребностей заботящихся об окружающей среде и собственном здоровье людей, передовые сельхозпроизводители видят в создании «сити-ферм» – вертикальных установок, позволяющий выращивать в городских условиях не только зелень и овощи, но и фрукты – с соблюдением высоких экологических стандартов. Аналоги таких предложений имеют свои истоки в Японии 70-х годов 20 века, получив широкое распространение по всей стране к текущему моменту. Объем мирового рынка вертикального земледелия в 2018 году превысил 2,6 миллиарда евро. К 2025-му он, по прогнозам аналитиков, достигнет 6,5 миллиарда и затем будет прирастать в среднем на 20,2 процента в год. [36]

Рисунок 3 наглядно демонстрирует направление, на которое ориентировано российское сельское хозяйство, – восходящий тренд в освоении посевных площадей для возделывания всех видов культур. Как следует из графика, этот показатель достиг к началу 2022 года 80437 тысяч обрабатываемых гектаров. Также за 2021 год отмечается рост посевных площадей у хозяйств населения – около 4 %.

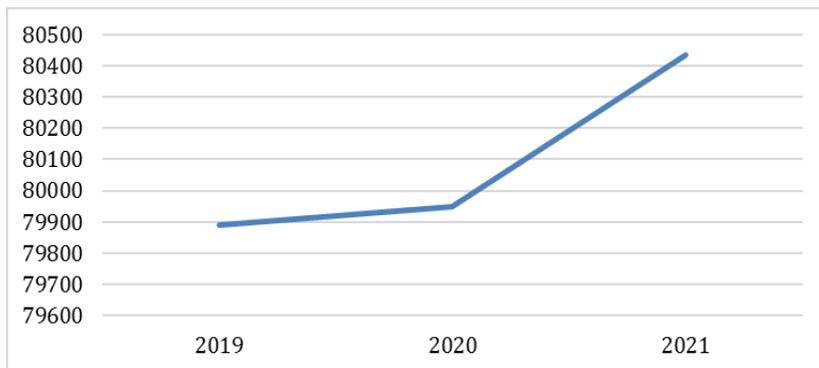


Рис. 3. Динамика посевных площадей сельскохозяйственных культур в хозяйствах всех категориям в Российской Федерации за период 2019-2021 годы, тысяч гектаров (*составлено автором по данным Росстата), [35]

Важнейший аспект зеленой агро-повестки – поддержание на необходимом уровне и развитие органическими методами плодородия почв. Именно плодородие почв является одним из важнейших стратегических аграрных ресурсов любой страны. Такая практика землепользования как севооборот на основе современных достижений аграрной науки, возделывание промежуточных культур, применение органических удобрений и минимальная механическая обработка почвы – являются важнейшими методами органического сельского хозяйства. Органические производители обязаны восстанавливать и поддерживать плодородие почв - стратегический ресурс государства. « Кроме того, органическое производство развивает местную экономику, кооперацию и прямые каналы сбыта, минуя посредников от поля до покупателя», – говорит Сергей Коршунов председатель Правления Союза органического земледелия, член Общественного совета минсельхоза. [38]

Органическое растениеводство сочетает широкий комплекс наиболее устойчивых практик на всех этапах и подсистемах сельскохозяйственной деятельности. В него включаются такие этапы, как управление почвенными ресурсами, водными ресурсами, плодородием почв, защитой растений от вредителей и сорняков, селекцией и размножением.

Основа управления почвенными ресурсами – минимальное механизированное вмешательство в процесс обработки почвы. В этой связи предполагается, например, что защита почвенных ресурсов от эрозии наиболее эффективно будет обеспечиваться за счет использования технологий мульчирования.

Следующий аспект органического растениеводства – грамотное и с использованием современных требований зеленой повестки управление водными ресурсами. Главная цель заключается в рациональном использовании водных ресурсов, обеспечивающее поддержание на достаточном уровне количества и качества воды. Технологически, предусматривается использование практик, обеспечивающих активное влагозадержание почв, уменьшение испарения и эффективное использование и перераспределение дождевых осадков.

Управление плодородием почв, предполагает правильно и эффективно подобранный и вовремя соблюденный севооборот, способный обеспечить ключевые свойства необходимые для всей системы органического земледелия. Приоритетными задачами на этом направлении выступают формирование здоровых почв, а также методы экологичного сохранения и восстановления органических составляющих вещества почвы. В связи с этим же аспектом выделяется такое направление органического растениеводства как управление защитой растений от вредителей и сорняков, предполагающее внедрение интегрированной системы защиты растений с применением биологических и натуральных методов борьбы с вредителями, болезнями растений и сорняками и исключая последний этап – применение химических средств защиты. Данное направление управления почвами имеет двунаправленный характер. С одной стороны, химические средства защиты растений с течением времени становятся дороже, что влечет дополнительные затраты для сельхозпроизводителей. С другой стороны, отказ от них в органическом растениеводстве позволяет придать импульс смежным сферам околоаграрного производства, таким как развитие собственных экологичных и высокотехнологичных производств биопрепаратов и биоудобрений, при этом с использованием отечественного сырья.

Ограничение применения химических препаратов позитивно влияет и на другие аспекты аграрного производства и сохранения на высоком качественном уровне биологических ресурсов. Например, использование органики в противовес химии позволяет сохранить пчел и других естественных опылителей, общее количество которых сократилось на треть за последние десятилетия. [15, 6, 1,7]

Органическое земледелие вводит существенные ограничения на применение минеральных удобрений. Напротив, предполагается восполнение и повышение питательных свойств почвы путем использования органических удобрений и труднорастворимых минералов, а также азотофиксирующих растений.

Наконец, важнейший аспект эффективного органического растениеводства – управление селекцией и размножением растений, предполагающее формирование устойчивой системы, способствующей повышению генетического разнообразия, полученных с помощью естественных репродуктивных способностей растений. [37]

В 2020 году в России вступил в силу федеральный закон об органической продукции. Этот документ ограничивает применение агрохимикатов, пестицидов, антибиотиков, стимуляторов роста, гормональных препаратов, ГМО и т.д. Предусмотренная законом маркировка органической продукции включает комбинацию надписей и графических изображений единого образца на упаковке. Маркировку «органик» не могут размещать компании без сертификатов и не состоящие в реестре. Однако на принятие данного закона, а также на неоспоримые выгоды органического сельхозпроизводства, и, как зафиксировано, даже не существенный рост темпов данного вида хозяйствования - 65 % в 2020 году по сравнению с 2019 годом, эксперты отмечают заметное отставание от стран с развитым этим сектором. В текущих обстоятельствах важным и необходимым видится особый вклад в продовольственную безопасность страны со стороны, прежде всего, субъектов малого и среднего аграрного бизнеса.

Одним из действенных рычагов на ориентацию отечественных аграрных организации на все более глубокое внедрение в производственную деятельность стандартов ESG следует отметить возможность их внедрения в практику госзакупок. Возможен к внедрению целый ряд механизмов и стимулирующих мер, направленных на развитие ESG-подхода в аграрной сфере. Прежде всего, речь идет о системах учета агропродукции, созданной с использованием протоколов и стандартов ESG. Например, этому может помочь введение единого стандарта ESG-отчетности и ESG-маркировки продукции сельского хозяйства, контролируемой государством. По данным одного из исследовательских агентств, изучающих вопросы внедрения ESG-повестки в деятельность российского агропромышленного комплекса - Strategy Partners, примерно 2/3 российских предприятий АПК уже задумываются о ESG-переходе, заложив соответствующие затраты в свои годовые бюджеты. [11]. Пока размер инвестиций на эти цели невелик, достигая один-два процента от оборота той или иной компании. Однако, на практике, все выглядит намного более активно, так примерно половина предприятий, работающих в агропромышленной сфере, принимают во внимание ESG-ориентиры и цели при формировании ключевых, стратегических документов, касающихся своего развития. [19]

Другой показатель, также иллюстрирующий ход внедрения ESG-повестки в работу АПК – выпуск предприятиями отрасли ESG-отчетов. Так, около 30% агропромышленных организаций планируют выпустить такие отчеты в ближайшие годы. Если брать сектор пищевой промышленности, то здесь аналогичная активность также находится на весьма заметном уровне – около $\frac{3}{4}$ предприятий имеют в своем «портфеле» сформулированные ESG-цели и около четверти собираются в ближайшее время выпускать собственные ESG-отчеты. По данным Strategy Partners, картина в этой сфере тем более внушает оптимизм, так как среди компании, активно развивающих ESG-повестку, находясь признанные хедлайнеры отрасли, такие как «Русагро», «Группа Черкизово», ГК «ЭФКО», холдинг «Агросила», ГК «Содружество», «Русмолоко», Концерн «Покровский», холдинг «ЭкоНива-АПК», «Русские Мельницы» и многие другие.

В современных условиях ограниченности привлечения иностранного капитала и разработок, отечественные сельскохозяйственные организации сталкиваются с серьезным вызовом. Безусловно, это не просто сложные условия хозяйствования, но и дополнительные возможности роста за счет развития собственного потенциала, не только технологического, но и кадрового. В этой связи, одним из путей развития аграрно-промышленного комплекса страны видится в увеличении объема инвестиций, направленных на повышение образования кадровых работников, а также ориентации системы образования страны в этом направлении. Государственная поддержка, как и прежде, если не в еще больших объемах, является необходимым звеном устойчивого развития данного сектора экономики. [27] Вне сомнений, предоставление возможности получить дополнительные средства для пополнения основного и оборотного капитала через льготные условия кредитования и снижение налоговой нагрузки на аграрные организации, будет являться существенным действенным механизмом роста потенциала и результативности деятельности отечественных сельхозпроизводителей. Такие меры поддержки, как субсидии на факторы производства, будут, вне всяких сомнений, способствовать расширению возможностей доступа особенно мелких сельскохозяйственных образований к средствам производства.

Обеспечение питательным и доступным продовольствием для растущего населения мира при одновременной защите жизненно важных природных систем, которые поддерживают жизнь, является одной из важнейших проблем нашего времени. Нынешняя сельскохозяйственная практика привела к впечатляющему росту производительности, но все чаще ассоциируется с высокими выбросами парниковых газов, потерей биораз-

нообразия и хроническими заболеваниями, в то время как многие сельские жители, которые зависят от сельского хозяйства, находятся в нищете. Важной задачей в этом направлении представляется перепрофилирование политики поддержки сельского хозяйства в направлении усиления результатов деятельности предприятий аграрного сектора, особенно способных обеспечить большую экологическую выгоду для всего общества.

Перепрофилирование части государственных расходов на сельское хозяйство для разработки и распространения более эффективных технологий для сельскохозяйственных культур и скота может сократить общие выбросы от сельского хозяйства более чем на 40%. Между тем, миллионы гектаров земли могут быть восстановлены до естественной среды обитания. Указанные мероприятия, без сомнений, принесут большую пользу людям. Это позволит повысить доходы сельских районов, способствуя повышению продовольственной безопасности. Это также существенно способно снизить стоимость здорового питания, способствуя улучшению показателей питания. И это ускорит сокращение бедности. [6, 1,9,8]

По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций, около трети всего продовольствия, производимого для потребления человеком, теряется или тратится впустую. В этой связи разработка общеотраслевой дорожной карты и инструментария для российского аграрного комплекса даст возможность предприятиям измерять и сообщать последовательно и конфиденциально; принимать целенаправленные меры по сокращению отходов в их собственных операциях, своей цепочке поставок и со стороны потребителей; поможет всему продовольственному сектору достичь целевых показателей устойчивого развития. Указанная карта будет иметь более комплексный широкий спектр действия и масштабный эффект при вовлечении в процесс разработки не только представителей организациями в области сельского хозяйства, но и производства, розничной торговли, гостиничного бизнеса и общественного питания.

В рамках концепции устойчивого развития экспертами этой области предполагается переработка и/или вторичное использование максимума отходами с минимальными остатками, подлежащих захоронению. Условно практики обращения с отходами можно разделить на два направления: неэнергетическое использование отходов и выработка энергии из отходов агропромышленного комплекса.

В рамках концепции устойчивого развития экспертами этой области предполагается переработка и/или вторичное использование максимума отходами с минимальными остатками, подлежащих захоронению. Услов-

но практики обращения с отходами можно разделить на два направления: неэнергетическое использование отходов и выработка энергии из отходов сельхозпредприятий.

Основными направлениями неэнергетического использования органических отходов растениеводства являются: применение отходов в качестве подстилки для животных, переработка и использование в качестве полезных кормовых добавок для животных, производство удобрений на основе отходов растениеводства, производство вторичных материалов. [39]

Наиболее целесообразное использование отходов сельского хозяйства становится производство энергии. Следует отметить, что разрабатываемые технологии переработки отходов сельского хозяйства для производства биоэнергетики охватывают первичные отходы животноводства, которые отлично подходят для производства газообразного топлива, и отходы растениеводства, в частности солома, сечка и шелуха зерновых и крупяных культур, лузга, стебли и листья сельскохозяйственных растений, стержни початков кукурузы и оболочка кукурузных зерен, костра льна и другое растительное сырье. Посредством различных технологий, таких как прямое сжигание, пиролиз, быстрый пиролиз, спиртовое брожение, анаэробное сбраживание, позволяют получать жидкие и газообразные виды топлива, более того с помощью технологии по производству гранулированной биомассы создается конкурентное твердое биотопливо. [4, 5, 3]

Выводы

Чтобы преодолеть выявленные проблемы и реализовать потенциал зеленой таксономии сельского хозяйства в РФ, необходим системный регулятивный и правленческий подход к управлению данной сферой, комплексные усилия всех заинтересованных участников.

Определено, что инициативы комплексного «зеленого» землепользования в РФ необходимо поддерживать на законодательном уровне. Расширение сотрудничества между ключевыми действующими лицами в этой области наряду с созданием всеобъемлющей структуры, основанной на извлеченных уроках за последнее десятилетие, могло бы привести к гораздо большему воздействию с точки зрения более устойчивого землепользования, сокращения выбросов парниковых газов, увеличения биоразнообразия, улучшения сохранения природных ресурсов и улучшения результатов развития.

Когда речь идет об изменении климата, сохранении биоразнообразия и восстановлении экосистем, крайне важно, чтобы ключевые участники в этой области сотрудничали и обменивались передовым опытом, реали-

зовывали потенциал этого подхода и, в конечном итоге, заставляли эти программы работать, как для человека, так и для природы.

Следует развивать механизмы внедрения лучших практик (например, предусмотренных законом об органической продукции), а также – расширять реальное влияние инструментария рейтингования как регионов, так и отдельных предприятий с точки зрения внедрения ESG-стандартов в свою деятельность.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Исследование не имело спонсорской поддержки.*

Список литературы

1. Адаптация на основе экосистем и успешное осуществление и достижение целей устойчивого развития. <https://www.greengrowthknowledge.org/research/ecosystem-based-adaptation-and-successful-implementation-and-achievement-sustainable>
2. Инновационное развитие агропромышленного комплекса в Рос- Ибб сии. Agriculture 4.0 : докл. к XXI Апр. междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 2020 г. / Н. В. Орлова, Е. В. Серова, Д. В. Николаев и др. ; под ред. Н. В. Орловой; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2020. 128 с.
3. Никулина Ю.Н. Анализ инструментов аграрной политики с точки зрения стимулирования сельской занятости / Ю. Н. Никулина, Е. В. Серова, Р. Г. Янбых. // АПК: Экономика, управление. 2021. № 10 (Аграрная политика: проблемы и решения). С. 3-13. <https://doi.org/10.33305/2110-3>
4. Орлова Н.В., Петухова М.С. Приоритетные направления научно-технологического развития защиты сельскохозяйственных растений в России и мире // International agricultural journal. 2021. Т. 64, № 2. С. 58-69. <https://doi.org/10.24411/2588-0209-2021-10310>
5. Орлова Н.В., Серова Е.В., Николаев Д.В., Хворостяная А.С., Новикова Ю.А., Явкина Е.В., Бобкова Е.Ю., Рагозин П.В., Янбых Р.Г., Соколов А.В., Чулок А.А. Инновационное развитие агропромышленного комплекса в России. Agriculture 4.0 // XXI Апрельская международная научная конференция по проблемам развития экономики и общества. М.: Издательский дом НИУ ВШЭ, 2020. С. 1-128. <https://publications.hse.ru/chapters/370136657>
6. Перепрофилирование сельскохозяйственной политики и поддержки: варианты преобразования сельскохозяйственных и продовольственных систем для лучшего обслуживания здоровья людей, экономики и планеты. <https://>

- www.greengrowthknowledge.org/research/repurposing-agricultural-policies-and-support-options-transform-agriculture-and-food
7. Приказ Минсельхоза № 71 от 11.02.2022 «Об утверждении порядка ведения единого государственного реестра производителей Сельскохозяйственной продукции, продовольствия, промышленной и иной продукции с улучшенными характеристиками, перечня размещаемых в информационно-телекоммуникационных сетях общего пользования, в том числе в сети «интернет», сведений и информации, содержащихся в указанном реестре, а также перечня информации, размещаемой в форме открытых данных»). <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202203010027?rangeSize=1>
 8. Пути к агроэкологии в Индии: экономические выгоды от устойчивого землепользования. <https://www.greengrowthknowledge.org/research/pathways-agroecology-india-economic-benefits-sustainable-land-management>
 9. Состояние продовольственной безопасности и питания в мире. 2022. <https://www.greengrowthknowledge.org/research/state-food-security-and-nutrition-world-2022>
 10. Федеральный Закон «О сельскохозяйственной продукции, сырье и продовольствии с улучшенными характеристиками» № 159-ФЗ от 11.06.2021 года // СПС Консультант Плюс. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_386798/
 11. Barko T., Cremers M., Renneboog L. Shareholder Engagement on Environmental, Social, and Governance Performance // *J Bus Ethics*, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10551-021-04850-z>
 12. Baulkaran V. Stock market reaction to green bond issuance // *J Asset Manag*, 2019, vol. 20, pp. 331–340. <https://doi.org/10.1057/s41260-018-00105-1>
 13. Brühl, V. Green Financial Products in the EU — A Critical Review of the Status Quo // *Intereconomics*, 2022, vol. 57, pp. 252–259. <https://doi.org/10.1007/s10272-022-1057-2>
 14. Clapp, J. Responsibility to the rescue? Governing private financial investment in global agriculture // *Agric Hum Values*, 2017, vol. 34, pp. 223–235. <https://doi.org/10.1007/s10460-015-9678-8>
 15. ИФОАМ. Нормативные требования ифоам для системы органического производства и переработки. <https://rosorganic.ru/files/ifoam.pdf>
 16. Hübel B., Scholz H. Integrating sustainability risks in asset management: the role of ESG exposures and ESG ratings // *J Asset Manag*, 2020, vol. 21, pp.52–69. <https://doi.org/10.1057/s41260-019-00139-z>
 17. Korableva O.N., Mityakova V.N., Kalimullina O.V. Designing a decision support system for predicting innovation activity // *Proceedings of the 22nd Interna-*

- tional Conference on Enterprise Information Systems, 2020, vol. 1, pp. 619-625. <https://doi.org/10.5220/0009565706190625>
18. Lashitew A.A. Corporate uptake of the Sustainable Development Goals: Mere greenwashing or an advent of institutional change? // *J Int Bus Policy*, 2021, vol. 4, pp.184–200. <https://doi.org/10.1057/s42214-020-00092-4>
 19. Liagkouras K., Metaxiotis K., Tsihrintzis G. Incorporating environmental and social considerations into the portfolio optimization process // *Ann Oper Res*, 2022, vol. 316, pp. 1493–1518. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03554-3>
 20. Mukherjee Z., Sohrabji N. Environmental Regulation and Export Performance: Evidence from the USA // *Eastern Econ J*, 2022, vol. 48, pp. 198–225. <https://doi.org/10.1057/s41302-022-00215-0>
 21. Ng T.H., Lye C.T., Chan K.H. et al. Sustainability in Asia: The Roles of Financial Development in Environmental, Social and Governance (ESG) Performance // *Soc Indic Res*, 2020, vol. 150, pp. 17–44. <https://doi.org/10.1007/s11205-020-02288-w>
 22. Ogaji, J. Sustainable Agriculture in the UK // *Environ Dev Sustain*, 2005, vol. 7, pp.253–270. <https://doi.org/10.1007/s10668-005-7315-1>
 23. Orlova NV, Nikolaev DV Russian agricultural innovations prospects in the context of global challenges: Agriculture 4.0 // *Russian Journal of Economics*, 2022, vol. 8, no. 1, pp. 29-48. <https://doi.org/10.32609/j.ruje.8.78430>
 24. Pogosyan V.G. Systemic Approach in Phenomenon Research (a Historiographic Etude) // *Voprosy Istorii*, 2021, vol. 4, no. 2, pp. 253-265. <https://doi.org/10.31166/VoprosyIstorii202104Statyi62>
 25. Robinson E., Carey R., Foerster A. et al. Latest Trends in Investing for Improved Nutrition and Obesity Prevention // *Curr Nutr Rep*, 2022, vol. 11, pp. 39–55. <https://doi.org/10.1007/s13668-021-00389-7>
 26. Strugar V. The complexity of the modern DNO business - the importance of maintaining IMS and ICT support // *Journal of Quality and System Engineering*, 2022, vol. 1, no. 1, pp. 1-10.
 27. The World Bank. Россия: Меры государственной политики для обеспечения конкурентоспособности агропродовольственного сектора и привлечения инвестиций. М.: Всемирный банк, 2019. <https://documents1.worldbank.org/curated/pt/457551512402319602/pdf/121>
 28. Tran D., Pham V., Le D., Bui T. A study on influence of environmental working conditions on wear of a ball screw based on TCVN7699-2-30 // *Journal of Applied Engineering Science*, 2022, vol. 20, no. 2, pp. 372-376. <https://doi.org/10.5937/jaes0-32506>
 29. Zhamkeeva M. World experience in customs tariff regulation of external economic activities // *Actual Problems of Economics*, 2012, vol. 135, no. 9, pp. 303-310.

30. Zhan J.X., Santos-Paulino A.U. Investing in the Sustainable Development Goals: Mobilization, channeling, and impact // J Int Bus Policy, 2021, vol. 4, pp. 166–183. <https://doi.org/10.1057/s42214-020-00093-3>
31. <https://www.fao.org/agriculture-consumer-protection-department/ru/>
32. <https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/publication/policies-for-investing-in-sustainable-growth-risks-and-opportunities-in-the-current-macro-economic-environment/>
33. <https://tass.ru/ekonomika/11512943>
34. https://tass.ru/ekonomika/15093005?utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com
35. <https://rosstat.gov.ru>
36. <https://rg.ru/2022/01/03/reg-ufo/chto-budut-vyrashchivat-rossijskie-fermery-v-blizhajshie-dvadcat-let.html>
37. <https://rg.ru/2022/04/06/v-rossii-predlozhili-vvesti-gosrejting-ekologichnyh-agropredpriyatij.html>
38. <https://rg.ru/2022/04/06/v-rossii-predlozhili-vvesti-gosrejting-ekologichnyh-agropredpriyatij.html>
39. <https://soz.bio/organicheskoe-selskoe-khozyaystvo-za/>
40. <https://1prime.ru/society/20211019/834990525.html>

References

1. Ecosystem-based adaptation and successful implementation and achievement of the sustainable development goals. <https://www.greengrowthknowledge.org/research/ecosystem-based-adaptation-and-successful-implementation-and-achievement-sustainable>
2. *Innovatsionnoe razvitie agropromyshlennogo kompleksa v Ros- I66 sii. Agriculture 4.0 : dokl. k XXI Apr. mezhdunar. nauch. konf. po problemam razvitiya ekonomiki i obshchestva, Moskva, 2020 g.* [Innovative development of the agro-industrial complex in Russia. Agriculture 4.0 : report to XXI Apr. intl. scientific conf. on the problems of the development of the economy and society, Moscow, 2020] / N. V. Orlova, E. V. Serova, D. V. Nikolaev et al.; ed. N. V. Orlova. Moscow: Ed. house of the Higher School of Economics, 2020, 128 p.
3. Nikulina Yu.N. Analiz instrumentov agrarnoy politiki s tochki zreniya stimulirovaniya sel'skoy zanyatosti [Analysis of agrarian policy instruments from the point of view of stimulating rural employment] / Yu. N. Nikulina, E. V. Serova, R. G. Yanbykh. *APK: Ekonomika, upravlenie*, 2021, no. 10, pp. 3-13. <https://doi.org/10.33305/2110-3>
4. Orlova N.V., Petukhova M.S. *International agricultural journal*, 2021, vol. 64, no. 2, pp. 58-69. <https://doi.org/10.24411/2588-0209-2021-10310>

5. Orlova N.V., Serova E.V., Nikolaev D.V., Khvorostyanaya A.S., Novikova Yu.A., Yavkina E.V., Bobkova E.Yu., Ragozin P.V., Yanbykh R.G., Sokolov A.V., Chulok A.A. Innovatsionnoe razvitiye agropromyshlennogo kompleksa v Rossii. Agriculture 4.0 [Innovative development of the agro-industrial complex in Russia. Agriculture 4.0]. XXI April'skaya mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya po problemam razvitiya ekonomiki i obshchestva [XXI April International Scientific Conference on Economic and Social Development]. Moscow: HSE Publishing House, 2020, pp. 1-128. <https://publications.hse.ru/chapters/370136657>
6. Repurposing agricultural policies and support: options for transforming agricultural and food systems to better serve human health, the economy and the planet. <https://www.greengrowthknowledge.org/research/repurposing-agricultural-policies-and-support-options-transform-agriculture-and-food>
7. Order of the Ministry of Agriculture No. 71 dated February 11, 2022 “On approval of the procedure for maintaining a unified state register of manufacturers of agricultural products, food, industrial and other products with improved characteristics, a list placed in public information and telecommunication networks, including the Internet”, data and information contained in the specified register, as well as a list of information posted in the form of open data”). <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202203010027?rangeSize=1>
8. Pathways to Agroecology in India: Economic Benefits from Sustainable Land Management. <https://www.greengrowthknowledge.org/research/pathways-agroecology-india-economic-benefits-sustainable-land-management>
9. The state of food security and nutrition in the world. 2022. <https://www.greengrowthknowledge.org/research/state-food-security-and-nutrition-world-2022>
10. Federal Law “On agricultural products, raw materials and food with improved characteristics” No. 159-FZ dated June 11, 2021. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_386798/
11. Barko T., Cremers M., Renneboog L. Shareholder Engagement on Environmental, Social, and Governance Performance. *J Bus Ethics*, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10551-021-04850-z>
12. Baulkaran V. Stock market reaction to green bond issuance. *J Asset Manag*, 2019, vol. 20, pp. 331–340. <https://doi.org/10.1057/s41260-018-00105-1>
13. Brühl, V. Green Financial Products in the EU — A Critical Review of the Status Quo. *Intereconomics*, 2022, vol. 57, pp. 252–259. <https://doi.org/10.1007/s10272-022-1057-2>
14. Clapp, J. Responsibility to the rescue? Governing private financial investment in global agriculture. *Agric Hum Values*, 2017, vol. 34, pp. 223–235. <https://doi.org/10.1007/s10460-015-9678-8>

15. IFOAM regulatory requirements for organic production and processing system. <https://rosorganic.ru/files/ifoam.pdf>
16. Hübel B., Scholz H. Integrating sustainability risks in asset management: the role of ESG exposures and ESG ratings. *J Asset Manag*, 2020, vol. 21, pp.52–69. <https://doi.org/10.1057/s41260-019-00139-z>
17. Korableva O.N., Mityakova V.N., Kalimullina O.V. Designing a decision support system for predicting innovation activity. *Proceedings of the 22nd International Conference on Enterprise Information Systems*, 2020, vol. 1, pp. 619-625. <https://doi.org/10.5220/0009565706190625>
18. Lashitew A.A. Corporate uptake of the Sustainable Development Goals: Mere greenwashing or an advent of institutional change?. *J Int Bus Policy*, 2021, vol. 4, pp.184–200. <https://doi.org/10.1057/s42214-020-00092-4>
19. Liagkouras K., Metaxiotis K., Tsihrintzis G. Incorporating environmental and social considerations into the portfolio optimization process. *Ann Oper Res*, 2022, vol. 316, pp. 1493–1518. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03554-3>
20. Mukherjee Z., Sohrabji N. Environmental Regulation and Export Performance: Evidence from the USA. *Eastern Econ J*, 2022, vol. 48, pp. 198–225. <https://doi.org/10.1057/s41302-022-00215-0>
21. Ng T.H., Lye C.T., Chan K.H. et al. Sustainability in Asia: The Roles of Financial Development in Environmental, Social and Governance (ESG) Performance. *Soc Indic Res*, 2020, vol. 150, pp. 17–44. <https://doi.org/10.1007/s11205-020-02288-w>
22. Ogaji, J. Sustainable Agriculture in the UK. *Environ Dev Sustain*, 2005, vol. 7, pp.253–270. <https://doi.org/10.1007/s10668-005-7315-1>
23. Orlova NV, Nikolaev DV Russian agricultural innovations prospects in the context of global challenges: Agriculture 4.0. *Russian Journal of Economics*, 2022, vol. 8, no. 1, pp. 29-48. <https://doi.org/10.32609/j.ruje.8.78430>
24. Pogosyan V.G. Systemic Approach in Phenomenon Research (a Historiographic Etude). *Voprosy Istorii*, 2021, vol. 4, no. 2, pp. 253-265. <https://doi.org/10.31166/VoprosyIstorii202104Statyi62>
25. Robinson E., Carey R., Foerster A. et al. Latest Trends in Investing for Improved Nutrition and Obesity Prevention. *Curr Nutr Rep*, 2022, vol. 11, pp. 39–55. <https://doi.org/10.1007/s13668-021-00389-7>
26. Strugar V. The complexity of the modern DNO business - the importance of maintaining IMS and ICT support. *Journal of Quality and System Engineering*, 2022, vol. 1, no. 1, pp. 1-10.
27. *The World Bank. Rossiya: Mery gosudarstvennoy politiki dlya obespecheniya konkurentosposobnosti agropromyshlennogo sektora i privlecheniya investit-*

- siy* [The World Bank. Russia: Government policy measures to ensure the competitiveness of the agri-food sector and attract investment]. Moscow: World Bank, 2019. <https://documents1.worldbank.org/curated/pt/457551512402319602/pdf/121>
28. Tran D., Pham V., Le D., Bui T. A study on influence of environmental working conditions on wear of a ball screw based on TCVN7699-2-30. *Journal of Applied Engineering Science*, 2022, vol. 20, no. 2, pp. 372-376. <https://doi.org/10.5937/jaes0-32506>
 29. Zhamkeeva M. World experience in customs tariff regulation of external economic activities. *Actual Problems of Economics*, 2012, vol. 135, no. 9, pp. 303-310.
 30. Zhan J.X., Santos-Paulino A.U. Investing in the Sustainable Development Goals: Mobilization, channeling, and impact. *J Int Bus Policy*, 2021, vol. 4, pp. 166–183. <https://doi.org/10.1057/s42214-020-00093-3>
 31. <https://www.fao.org/agriculture-consumer-protection-department/ru/>
 32. <https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/publication/policies-for-investing-in-sustainable-growth-risks-and-opportunities-in-the-current-macro-economic-environment/>
 33. <https://tass.ru/ekonomika/11512943>
 34. https://tass.ru/ekonomika/15093005?utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com
 35. <https://rosstat.gov.ru>
 36. <https://rg.ru/2022/01/03/reg-ufo/chto-budut-vyrashchivat-rossijskie-fermery-v-blizhajshie-dvadcat-let.html>
 37. <https://rg.ru/2022/04/06/v-rossii-predlozhili-vvesti-gosrejting-ekologichnyh-agropredpriyatij.html>
 38. <https://rg.ru/2022/04/06/v-rossii-predlozhili-vvesti-gosrejting-ekologichnyh-agropredpriyatij.html>
 39. <https://soz.bio/organicheskoe-selskoe-khozyaystvo-za/>
 40. <https://1prime.ru/society/20211019/834990525.html>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Тарасова Ольга Николаевна, канд. экон. наук, доцент Базовой кафедры финансового контроля, анализа и аудита Главного контрольного управления города Москвы
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский университет им. Г.В. Плеханова»
Стремянный пер., 36, г. Москва, 117997, Российская Федерация
olgaklchv@rambler.ru

Проданова Наталья Алексеевна, д-р экон. наук, профессор Базовой кафедры финансового контроля, анализа и аудита Главного контрольного управления города Москвы
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский университет им. Г.В. Плеханова»
Стремянный пер., 36, г. Москва, 117997, Российская Федерация
prodanova-00@mail.ru*

Харакоз Юлия Константиновна, канд. экон. наук, доцент кафедры мировой экономики
*Дипломатическая академия МИД России
ул. Остоженка, 53/2 стр. 1, г. Москва, 119021, Российская Федерация
yul-kharakoz@yandex.ru*

Георгадзе Нана Давидовна, старший специалист отдела аудита
*АО «Кэпт»
пр-т Олимпийский, 16 стр. 5, г. Москва, 129110, Российская Федерация
nanageo1010@gmail.com*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Olga N. Tarasova, Associate Professor Basic Department of Financial Control, Analysis and Audit of the Main Control Department of the City of Moscow
*Plekhanov Russian University of Economics
36, Stremyanny lane, Moscow, 117997, Russian Federation
olgaklchv@rambler.ru
SPIN-code: 1023-8043
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6089-0939>
ResearcherID: ABA-4559-2020
Scopus Author ID: 57207848537*

Natalia A. Prodanova, Doctor of Economics Sciences, Professor Basic Department of Financial Control, Analysis and Audit of the Main Control Department of the City of Moscow
*Plekhanov Russian University of Economics
36, Stremyanny lane, Moscow, 117997, Russian Federation
prodanova-00@mail.ru
SPIN-code: 2085-6329*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5140-2702>

ResearcherID: AAJ-2228-2020

Scopus Author ID: 5719125112

Yulia K. Kharakoz, Associate Professor, Department of World Economy
Diplomatic Academy of the Ministry of Foreign Affairs of the Russian
Federation 53/2, Ostozhenka Str., Moscow, 119021, Russian Federation
yul-kharakoz@yandex.ru

SPIN-code: 6825-0029

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7841-5770>

ResearcherID: ADD-800-2022

Scopus Author ID: 57210560897

Nana D. Georgadze, Senior Specialist of the Audit Department

JSC “Kept”

16, Olimpiysky prospect, Moscow, 129110, Russia

nanageo1010@gmail.com

SPIN-code: 2085-6329

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7758-5682>

Поступила 03.10.2022

После рецензирования 07.11.2022

Принята 15.11.2022

Received 03.10.2022

Revised 07.11.2022

Accepted 15.11.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-363-391

UDC 338.439



Scientific review

TRENDS OF EVOLUTION OF FOOD SECURITY: DIGITAL TRANSFORMATION, SOCIAL ENTREPRENEURSHIP AND HUMAN DIGNITY

*V.V. Bakharev, G.Yu. Mityashin, E.L. Stelmashonok,
V.L. Stelmashonok, G.G. Chargasiya*

This paper examines innovations in the field of ensuring food security for those in need. It is noted that in the modern world, in addition to traditional food supply models (that is, those that set themselves the only goal – to help those in need) innovative methods are emerging (which pursue several goals, one of which is to help those in need). In more detail, this paper discusses innovative methods, to which the authors refer the possibility of creating a public retail network with fixed prices, conducting a markdown procedure, getting food in commercial enterprises for free, obtaining a comprehensive restaurant service at a significantly lower price and self-organization of people in a digital environment. The paper presents a detailed analysis of each of the above methods. The main conclusion of the study is the need to segment the needy depending on their specific needs. The authors propose to distinguish the following groups of people in need: those in need of basic food, those in need of additional food, those in need of socially acceptable practices for obtaining food, the well-off. For each of the selected groups, innovative methods of providing food are proposed, depending on the specifics of the needs of the people in each group. It is noted that considering individual needs while ensuring food security leads to an increase in the quality of life of the population.

Keywords: food security; food sharing; charity; platform economy; poverty; social marketing; dignity; catering

For citation. Bakharev V.V., Mityashin G.Yu., Stelmashonok E.L., Stelmashonok V.L., Chargasiya G.G. Trends of Evolution of Food Security: Digital Transformation, Social Entrepreneurship and Human Dignity. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 363-391. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-363-391

Обзорная статья

ТЕНДЕНЦИИ ЭВОЛЮЦИИ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ, СОЦИАЛЬНОЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО И ЧЕЛОВЕЧЕСКОЕ ДОСТОИНСТВО

*В.В. Бахарев, Г.Ю. Митяшин, Е.В. Стельмашонок,
В.Л. Стельмашонок, Г.Г. Чаргазия*

В данной работе рассматриваются инновации в сфере обеспечения продовольственной безопасности нуждающихся. Отмечается, что в современном мире помимо традиционных моделей продовольственного обеспечения (то есть тех, которые ставят перед собой единственную цель – помочь нуждающимся) появляются инновационные методы (которые преследуют несколько целей, одной из которых является помощь нуждающимся). Более подробно в данной работе рассматриваются инновационные методы, к которым авторы относят возможность создания государственной розничной сети с фиксированными ценами, проведение процедуры уценки, получение еды в коммерческих предприятиях бесплатно, получение комплексной ресторанной услуги по значительно более низкой цене и самоорганизацию людей в цифровой среде. В работе представлен подробный анализ каждого из приведенных методов. Основным выводом исследования заключается в необходимости сегментирования нуждающихся в зависимости от их специфических потребностей. Авторами предлагается выделять следующие группы нуждающихся: нуждающиеся в базовых продуктах питания, нуждающиеся в дополнительных продуктах питания, нуждающиеся в социально-приемлемых практиках получения еды, обеспеченные. Для каждой из выделенных групп предложены инновационные методы обеспечения едой в зависимости от особенностей потребностей людей, входящих в каждую группу. Отмечается, что учет индивидуальных потребностей при обеспечении продовольственной безопасности приводит к росту качества жизни населения.

Ключевые слова: *продовольственная безопасность; фудшеринг; благотворительность; платформенная экономика; бедность; социальный маркетинг; человеческое достоинство; общественное питание*

Для цитирования. *Бахарев В.В., Митяшин Г.Ю., Стельмашонок Е.В., Стельмашонок В.Л., Чаргазия Г.Г. Тенденции эволюции продовольственной*

безопасности: цифровая трансформация, социальное предпринимательство и человеческое достоинство // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №2. С. 363-391. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-363-391

Introduction

The ongoing transition to the digital economic and technological paradigm has disrupted many traditional models of economic and social activity [26, 43, 46] including existing approaches towards food security. New technologies help to use novel resources for food production (for example, insects), create new types of food (meat substitutes, milk substitutes etc.), introduce new models of food production (vertical farms) and provide people with a more comfortable access to food (food delivery platforms) [5]. These products have many benefits in comparison with conventional types of food:

- Lower negative ecological effects;
- Higher quality and nutritional value;
- More efficient use of limited land resources;
- Higher level of food security (thanks to shorter supply chains).

These positive effects are analyzed in the existing literature. However, digital transformation is not limited to implementation of new technologies. The key result of digital transformation consists in introducing new business models and changing organization of interactions between economic agents [18, 27, 30, 35]. While these developments are well studied in other fields of economic activity, the organizational transformation of food security models, to the best of our knowledge, remains understudied.

It should also be noted that the existing literature on digital transformation in food industry is mostly dedicated to profit-oriented models [9, 20, 21, 27], while the impact of digital technologies on non-commercial distribution of food has attracted less attention (the only exception are food sharing platforms). It means that the potential of new formats of food provision for people in need is not fully understood. Now, when the current geopolitical trends threaten the sustainable access to food [15, 17, 42] and traditional models of food security may not be sufficient [8, 12, 32, 46], it is important to know how new organizational models can be used for food provision [15, 34].

The present paper will fill in this gap and describe new roles of key stakeholders of food security system (state, customers and retail chains) as well as new models of access to food. As a result, we will demonstrate how the overall concept of food security as well as the system of food security change and adapt to new requirements of people and to transforming economic and technological environment.

Materials and methods

In this work, many theoretical and practical methods of scientific research are used. In order to identify main ways of transformation of roles of stakeholders of food security system we used the method of descriptive literature review. We also implement this method for description of key features of new models of food security. Mini case studies are introduced to demonstrate the key ways of development of models of access to food for people with low income. Changing roles of stakeholders of food security systems are described on the basis of the method of strategic matrices (as this method is often used to demonstrate advantages and disadvantages [2] as well the structure of various models of access to food [36]).

Results

1. Traditional and innovative tools of food security

First of all, it is crucial to make a clear distinction between traditional and innovative tools of food security. By traditional ways of providing food, we mean those projects that have one goal – to provide food to people with low income. By innovative methods we mean projects that, in addition to providing people in need with food, also solve other tasks with providing food to those in need, are also aimed at solving other tasks (see Table 1).

Table 1.

Model of food provision for people in need [28]

Name of the method	Organizer (resource provider)	Characteristic	Innovative/Traditional	Additional goals
Food stamps	State	Issuance of coupons that can be exchanged for food at authorized retail chains	Traditional	None
Food banks	Non-commercial organizations (supported by the state, business and local communities)	Distribution of free food to people in need	Traditional	None
Free canteens	Non-commercial organizations (supported by the state, business and local communities)	Providing ready-to-eat meals for people in need for free	Traditional	None
Free food at commercial retail chains and restaurants	Businesses	Free and unconditional provision of food to customers	Innovative	Marketing
Food sharing	Self-organization and/or non-commercial organizations	Redistribution of food among people	Innovative	Ecology

Traditional models of food security are described in the existing literature. The present paper will analyze innovative tools of food provision to people in need.

2. New concept of food security

Traditionally, from the point of view of models of ensuring food security, the society has been divided into two basic groups:

- People with sufficient income to buy food on market terms. These people normally do not need support.
- People in need (their income is not sufficient to buy food for themselves and for their households). In order to provide these people with food non-market tools have to be used (state support, charity etc).

However, this traditional division is losing relevance in the modern world. People are now paying attention not only to the amount of food they have, but also to its quality and diversity as well as to environment of consumption. They are afraid to be stigmatized if they use non-commercial tools of access to food and feel ashamed when they resort to charities (food banks etc) and state support [33, 36]. They are interested in socially acceptable models of food provision and want not to be separated from people who are able to purchase food on market terms. Taking this consideration into account, we propose to divide people in three groups (Table 2).

Table 2.

Groups of people in need

Segment	Characteristic	Examples
Unsecured (people who need food)	<ul style="list-style-type: none"> - They cannot provide themselves with food. - Need to receive subsidies for food or free food. - Not concerned about the variety and place of food consumption. 	Retired people with low income; homeless people
People who are interested in socially acceptable food consumption practices	<ul style="list-style-type: none"> - Have enough money to buy basic products (or have access to food). - Do not have enough money to go to the places they want to. - Requirements for the place of purchase (or consumption) of meals are to high in comparison with the level of income. - Need public approval. - They want to emphasize (and increase) their social status by visiting fashionable places or buying more expensive products. 	Young people with limited pocket money (for example, non-working students)
Secured	<ul style="list-style-type: none"> - Have enough resources to satisfy their food-related physical, emotional and social needs 	- Regular customers (in different income groups)

Table 2 shows that a new segment of people in need can be identified in modern society. There is a group of people who have enough resource to satisfy their physical needs but are not able to meet their social and emotional requirements (we can describe them as social eaters). These people want to look more successful in society. One of the elements of forming the image of a successful person (along with a well-known brand phone and a beautiful photo on a social media personal page) is visiting fashionable restaurants. (as people with the same level of income and with the same level of food consumption may have different levels of satisfaction of their emotional and social needs).

It leads to two important conclusions:

- Food security models should be redesigned in order to meet the requirements of social eaters. For example, traditional food provision models (based on state support and charities) should be made more respectful and friendly and less stigmatizing;

- This group of social eaters creates demand for a comprehensive restaurant service (including space for food consumption, service and food [2]) at a significantly reduced price. Accordingly, a new niche has appeared in the restaurant market.

It means that not only physical needs, but also human dignity should be taken into account in food security models in order to ensure decent consumption.

We will discuss below how restaurants and food stores try to meet these new requirements.

3. Innovative forms of state support for people in need

In modern Russia, there is a decrease in the real level of income of the population. It will lead to a lower availability of food, especially for people with low income. The state has traditionally provided support to ensure affordability of food for people in need. This support has many indirect effects [47]. But the state normally does not participate in food distribution. The support normally consists in providing people with additional funds (in the form of money or food stamps). The state can also regulate food prices (for example, in 2022 an agreement was reached with the largest Russian retailers to limit the level of margins at 5% for dairy products, bakery products, sugar and some vegetables [URL: <https://www.m24.ru/news/ehkonomika/24032022/443877>]). Unfortunately, the implementation of the agreements reached is invisible to the buyer. For example, the assortment of a small store (an area of about 600 sq.m.) contains about 15 names of milk, while only one product name belongs to the basic ones, the layout of which is not obvious to the client. Because most goods are not subject to the margin restriction, and essential goods make up less than 1% of the

store's assortment, customers cannot notice the positive effect of government intervention. Accordingly, the goal of the agreements reached is not achieved, that is, food products do not become more accessible to the population.

In this regard, the Commissioner for Human Rights in the Republic of Tatarstan proposed to create a state network of grocery stores, where goods will be sold with a zero margin [URL: <https://www.m24.ru/news/ehkonomika/24032022/443877>]. Similar retail chains exist in other countries (the most famous is probably the Public Distribution System in India that provides people with basic food and other items [33, 42]).

It is likely that public-private partnership mechanisms will be used in the organization [11]. Depending on the mechanism used, the State may:

- Leave the amount of revenue to the private partner and pay an additional amount that will cover the costs of circulation and ensure the established rentability rate.

- To organize a mechanism in which the revenues will be transferred by the private partner to the state. In order to carry out the activities of the stores, the state will pay the amounts fixed in the contract, which include the costs of doing business and the profit of the private partner.

Creation of a state food retail chain with fixed margin involves a number of risks. Globally, they can be grouped into three groups. The organizational risk group includes risks associated with the incorrect choice of a private partner and with the organization of such a chain in Russia. It should be noted that determining the optimal number of stores and their product range is a non-trivial task due to the size of the country and the focal type of population settlement in most of its territory. In order to minimize the risks associated with the organization of cooperation with a private partner, digital tools should be used to ensure transparency of the competition. To ensure the activity of the shops of the proposed retail chain in remote settlements, it may make sense to consider options for organizing delivery.

The second group of risks is related to the economic efficiency of the network. Due to the non-standard assortment, there is a risk of increasing logistics costs, as well as a possible shortage of basic goods, which may arise due to the mentality of people.

Marketing risks are associated with the need for correct product range and information support for the opening of chain stores.

Thus, in order to organize the activities of the state grocery chain with fixed margin, it is necessary to take into account and minimize the negative impact of a wide range of risks.

This proposal demonstrates that the state may become an active participant of the food security system. It will change the role that the state has traditionally played within this system and may create important benefits for people in need (better access to food) and businesses (that will be selected as partners for potential public-private partnerships). However, it also can create important risks that should be taken into account.

4. Retail stores in the post-industrial model of food security

Retail trade of food products is characterized by the problem of surplus formation. Surpluses are goods that will expire before they are sold. On the one hand, such a product is a source of losses for the store, on the other hand, store will need to pay extra money for its disposal. To minimize losses, such an approach as markdown was introduced. Markdown consists in promotion of the sale of goods with an approaching expiration date by reducing its price with notification of the buyer about the reduced period of use (it is important that the consumer properties of these goods are lower than those of similar new items, but the consumption of such goods is safe for the customer). Benefits and risks of markdown for key stakeholders are given in table 3. Markdown should not be confused with promotion-driven discounts as in case of markdown retail chains are interested not in promotion of specific products and brands but in faster sales of expiring goods.

Table 3.

Advantages and risks of markdown for key stakeholders

	Advantages	Disadvantages
For business	<ul style="list-style-type: none"> - Cost minimization. - Acceleration of trade turnover. - A promotion tool (in case of informing the public about the possibility of purchasing such goods). - Fulfilling a social mission. 	<ul style="list-style-type: none"> - The risk of selling low-quality goods and subsequent image losses. - Additional organizational tasks (additional printing stickers, changing the layout etc.).
For indigent people	<ul style="list-style-type: none"> - Purchase of food at a significantly lower price. - Obtaining products of satisfactory quality. - The possibility of choice. 	<ul style="list-style-type: none"> - Lower quality of the product. - The need to consume the product quickly. - The need for constant monitoring of discounted goods (increased time costs). - Unstable assortment.

One can easily see that markdown meets the requirements of social eaters as they can increase the diversity of food at a reasonable cost. They also purchase food in conventional food stores without being differentiated from regular customers.

There are commercial enterprises operating in the restaurant, which, in a highly competitive struggle, need to create a marketing concept and strong promotion tools [2, 20]. In the context of the socially oriented orientation of modern society, commercial enterprises are trying to use social marketing in their marketing strategies. The purpose of commercial enterprises using social marketing tools is to increase profits. However, in the process of achieving this goal, commercial enterprises create value for people in need.

The solution proposed by the company “DoggyBag” (URL: <https://doggy-bag.club/>) has some similarities with markdown. “Doggy-Bag” business model is based on social marketing: is a restaurant aggregator operating entirely in a digital environment (represented by a mobile application) with the help of which unclaimed (those that probably will not be sold on time) products are sold.

“DoggyBag” is a platform [10, 27, 29, 35] that hosts information from partner restaurants about products that can be sold at a discount. At the same time, the offer has many distinctive features:

- The product always representing a set of several items that are sold in the restaurant.
- The customer does not know the composition of the set until the order is received.
- The composition of the set is determined by the restaurant independently.
- The set includes the products that most likely will not be sold during the day at the menu price, that is, the set is formed from excess goods (that are a potential source of losses for the restaurant).
- The partner restaurant commits to sell these sets at a better price than purchasing them separately at menu prices.

Thus, the basis of the “DoggyBag” business model is providing information about discounts on food of partner restaurants. The structure of purchase process is given in Figure 1.

As Figure 1 shows, “DoggyBag” is a company that is an information intermediary, on the platform of which partner ads are placed, while “DoggyBag” does not impose requirements on the number of ads placed by partners [13, 16]. Users can choose restaurants by different criteria: concept (restaurant, cafe, fast food, etc.), price, the time when the client needs to pick up a set. There is a possibility to select the desired cafe on the interactive map. When the customer has selected a suitable product for themselves, then they can book it. After booking, they receive a barcode, which must be shown at the restaurant to receive the “DoggyBag” set and to make the payment. “DoggyBag” does not participate in making payments and delivering goods and is acting only as an aggregator of information.

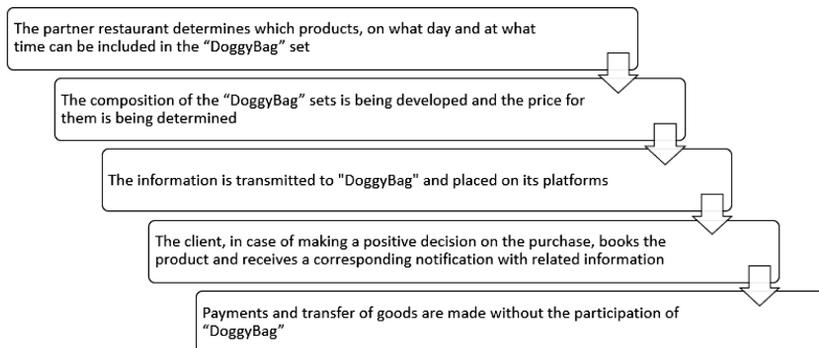


Figure 1. The algorithm of the company "DoggyBag"

At the same time, the partner restaurant independently determines the following:

- The composition of the "DoggyBag" set.
- The number of "DoggyBag" sets that are available on a fixed date.
- The discount level and the price for the "DoggyBag" set.
- The time when it is necessary to pick up the sets.

The principle of operation of "DoggyBag" has some similarities with the markdown procedure. They are both aimed at minimizing the supplier's losses [39], while the buyer receives a product of satisfactory quality at a discount. The difference is that the markdown procedure in food retail stores is applied to goods whose expiration date is ending, and "DoggyBag" operates with goods with a normal expiration date, which most likely will not be sold on time. That is, with the help of "DoggyBag", higher-quality goods are sold. Since the demand for each product can change from day to day, the founders of "DoggyBag" decided to sell sets with unknown content. Thus, the value proposition of this company consists in the sale of a random set of goods at a reduced price (as a rule, the discount percentage is at least 25%, standard discount is 60%). Accordingly, the target audience of "DoggyBag" are people with low income who want to diversify their consumption. Moreover, such people are modern, have a smartphone and are not poor, as they can afford food from a cafe (albeit at discounted prices).

In order to demonstrate the basic principles of the application and its benefits for customers, the authors paid a visit to one of the restaurants participating in "DoggyBag" platform. The "Cinnabon" cafe was chosen for the visit, located on 154 Engels Avenue in St. Petersburg (the visit took place on March 9, 2022).

Cinnabon is a well-known international bakery chain operating in 52 countries. In Russia, 183 establishments operate under this brand, the basis of the assortment of which is unique pastries. Cinnabon offers a “happy hours” discount: in the last hour of the cafe’s work, a 50% discount applies to all pastries every day. Let us compare the benefits of buying food from Cinnabon through “DoggyBag” and the “happy hours” discount (Table 4).

Table 4.

**Analysis of the benefits of different variants of purchase
of food from Sinnabon**

The “DoggyBag” set composition	Menu price (rubles)	The price of the “happy hours» promotion (rubles)	Price via «Doggy-Bag” (rub.)
Cinnabon classic (cinnamon bun)	230	115 (50% discount)	84 (60% discount)
Chokobon (chocolate bun)	240	120 (50% discount)	92 (60% discount)
Box	27	27 (no discount)	10,8 (60% discount)
Package	10	10 (no discount)	4 (60% discount)
Total price	497	272 (44% discount)	190,8 (60% discount)

As Table 4 shows, “DoggyBag” provided a 60% discount on all products included in the set, while the evening discount covers only pastries. The goods included in the set were of high quality, but the employee collected the order for takeaway. During the conversation with the cashier, the authors found that these kits are completed for takeaway, since they always include a box and a package. Moreover, drinks are never included in the “DoggyBag” sets. The cashier explained that the price of “DoggyBag” sets can change throughout the day, as well as their composition. But for a certain time interval (ranging from a few hours to a working day), the price should be fixed. This is due to the technical limitations of the “DoggyBag” application. Moreover, the client cannot book more than one set, and after the booking is completed, the client cannot view other sets (only the page with information about the booked set is available in the application). This is done in order to minimize the number of cases when customers do not come for their orders. Taking into account the collected information, we will compile, in which we will present the elements of decent consumption and discriminatory elements for customers who purchase food through “DoggyBag” in the Table 5.

“DoggyBag” helps people with low income (belonging to the social eaters group) can get a variety of delicious and high quality products (beyond basic food) with significant benefits. At the same time, the discriminatory elements

are minimal and do not create substantial inconveniences for the client: clients can ask employees to shift the order from takeaway to restaurant service and spend time in the cafe. Drinks can be purchased at the cafe (at full price) or purchased by a customer elsewhere.

Table 5.

Elements of decent consumption and discriminatory elements of “DoggyBag”

Elements of decent consumption	Discriminatory elements
<ul style="list-style-type: none"> - Quality food at a much better price. - Food from prestige brands. - Dishes sold through «DoggyBag» are not different from regular dishes. - Sets normally include several products; - An opportunity for the recipient of discounted products not to stand out from commercial consumers. - Products are provided in a fashionable restaurant (not in a charity). 	<ul style="list-style-type: none"> - Drinks are not included in the «Doggy-Bag» set. - There is no choice of meals. - Instability of the offer. - Focus on takeaway orders.

It should be noted that digital tools can be used when conducting mark-downs. Discounted goods can be sold not only in a traditional store, but also via Internet platforms [18]. Now, the most popular of them in Russia is “EatMe”, which exists as a digital platform represented by a mobile application and an Internet site. This platform is an aggregator of discounted goods from partner stores and partner catering establishments. The platform allows broad segments of the population to quickly get full information about promotions and discounts, which simplifies access to food at lower prices, and purchase and book these products through the platforms. Thus, a new model has been created that allows people to buy goods at lower prices via the Internet. This model integrates the traditional policy of retail enterprises to provide discounts on expired products with a platform business model.

The second case is “FreeCompany” (URL: <https://freecompany.org/>). This is a fast food chain that specializes in selling hot dogs and pizza. When this company was first created, its distinctive feature of this network is the provision of one free hot dog to everyone every day [28] subject to several conditions:

- Mandatory registration in the company’s mobile application (required to track the receipt of free products). Digital technologies are used to ensure control over the distribution of free food.

- The main product (a small hot dog) is offered free of charge. All additional products (toppings, drinks, etc.) are not free.

- People who receive free hot dogs should always wait until commercial customers are served.

The main advantage of this model for low-income customers is the opportunity to get food in a trendy cafe, not differing from commercial customers (this approach is important for a group of social eaters). Moreover, no one will stigmatize them for using a free product, because the company is proud of this promotion and actively uses it in advertising. The cost of free product consumption is the waiting time, because the company gives priority to paid products and prepares them faster. Moreover, it is quite difficult to eat fast food without a drink, which forces insolvent customers to buy a drink, but no one prevents them from bringing water or a bottle of soda.

Customers ordering a paid product can also use the mobile app to get it for free. For them, this is a bonus to the main order, which allows you to get a large portion of food for a similar amount of money. Moreover, customers can use the free product for tasting and subsequently order paid products for money.

However, over time, the promotion with a free hot dog was redesigned into a “wheel of fortune”, which works as follows:

- Instead of a hot dog, the customer can randomly get a slice of pizza, a small portion of salad, a small snack, a random cold or hot drink, water or muffin.
- No limit on the minimum order amount.
- A free product is issued 1 time in 7 minutes.

The described change in the loyalty program, in fact, indicates the company's rejection of the initially chosen concept of social marketing – instead of it, the strategy of gamification of the purchase process was chosen. Changing the composition of a free product by adding drinks and desserts allows us to talk about the company's attempts to create additional value for commercial customers (those who pay money for the purchase) due to the chance to save on dessert or drink, rather than the desire to feed those in need. However, the most significant limitation is the issuance of a promotional product once every 7 minutes (taking into account the company's work schedule from 10:00 to 0:00, 120 products are offered per day), that is, in fact, a strict limit of the company's costs for a promotional product is introduced, which was not when distributing free hot dogs.

Thus, the initial version of the company's promotion (giving out a free hot dog to everyone) could be considered as social marketing, despite the presence of discriminatory elements (small product size, long waiting time, lack of choice), the new version of the promotion, unfortunately, is designed to work with commercial customers. The obvious conclusion is the low suitability of commercial enterprises for solving social problems.

Freedog and DoggyBag projects demonstrate that the segment we described above (social eaters interested in access to high-quality food in fashionable restaurants at low price or for free) is attractive for restaurants. Restaurants are offering food to this segment in order to reach the following goals:

- Build up a good social image (equal access to food for everybody);
- Attracting new customers and increasing sales. Even when people get meals at a discounted price, they may wish to buy additional meals (as the products included in the offer are not sufficient to satisfy all food needs);
- Reducing risks of food waste.

These conclusions demonstrate that approach towards food security has changed:

- Commercial businesses participate in ensuring food security;
- Unlike traditional food security agents (charities and the state), businesses use food security tools as a support for their commercial goals;
- Businesses participating in food security provision are mostly oriented towards social eaters;
- Social eaters became an important group whose requirements in the field of food security (food should be not only sufficient, but also socially accepted and fashionable) should be taken into account.

Businesses should find a balance between decent consumption tools and discriminatory elements in order to provide equal access to food for social eaters and ensure rentability.

5. The phenomenon of food sharing: self-organization of customers

The digital transformation of modern society allows for the self-organized distribution of surplus food between owners of these surpluses and people in need. It should be noted that both the people in need and the surplus owners are interested in such self-organization [4]. Environmental (respect for the environment) and social (ensuring equality and a decent life for all) values are becoming increasingly important for the modern society [1, 3, 22, 43]. The emergence of food surpluses hinders the achievement of these values. The disposal of food pollutes the environment, in addition, the disposal of food in a situation where a significant part of the population does not have access to the necessary nutrition can be considered as a manifestation of social injustice. For this reason, the possibility of distributing surplus products allows their owners to comply with important environmental and social values [30, 37, 43]. People with low income are obviously interested in distribution of food surpluses as this tool provides them with access to food. This common interest led to emergence of new models of distribution of food based on self-organization supported by digital technologies.

Specialized groups began to appear on the Internet (in social media and messengers), in which people offer to pick up food or household goods for free. These groups are platforms that act as digital intermediaries between owners of surplus food and people in need [6]. This group can often be local (at the level of a district or a city). This model of product distribution is called food sharing [3, 7, 38, 40, 44]. Because the transaction is conducted between two individuals, this food sharing model can be called C2C food sharing. Let us consider its features:

- Products are transferred free of charge.
- Communication is conducted in a digital environment.
- The products must be suitable for consumption.
- People should not take more food than they can consume.
- Products transferred by food sharing cannot be resold after receipt.
- The person who picks up the products can be of any age and have any income level.

The mechanism of interaction in these food sharing groups is extremely simple. Persons who want to share a product put ads in these groups indicating model of contact (usually through comments to the ad or personal messages). People who would like to pick up this product respond to the ad in a specified way. Then they agree on the time and place of delivery of the product.

Advantages and disadvantages of this self-organized food sharing for both sides are presented in the Table 6.

Table 6.

Stakeholder analysis of C2C food sharing

	Advantages	Disadvantages
For providers	- Reduction of food waste - Assistance to people in need	- Waste of personal time
For receivers	- Free food - Choice of food	- Pick-up (transportation and time cost may be high) - Access to Internet is necessary - The quality of food is not guaranteed - Instability of the offer (information about available products is published irregularly)

As Table 6 shows, food providers do not receive financial benefits from participation in food sharing. This participation is tied to the personal social responsibility of citizens (the desire to help people in need or to protect the environment). Such social communications require additional time, but lead to

personal emotional satisfaction. It should be noted that some people may use food sharing to assert themselves in society (that is, to demonstrate their social and environmental responsibility).

The benefits for the people in need consist in the possibility of obtaining additional and free food. Receivers can also choose these products, which makes it possible to diversify the diet (especially taking into account the fact that sometimes expiring, but suitable for consumption food from shops and restaurants is also distributed in these groups) [1]. It is an important advantage as people in need usually have access to a very limited choice of food. However, the quality of food is not guaranteed. Providers not only distributed the food purchased from stores and restaurants, but also give meals they cooked but had no possibility to eat. Obviously, the quality and the taste of these meals cannot be standardized. Moreover, receivers have to pick up food and the transportation and time cost can be high (it obviously creates limits for access to food). There is no fixed place of meeting for providers and receivers and each transaction is agreed upon separately (including place and time of meeting). Receivers have to go to a new place every time they participate in food sharing. It increases transaction costs for receivers (as well as for providers) in comparison with traditional food banks.

Food sharing is not a widespread practice, however, it demonstrates that people may be active participants of food security system and provide people in need with surplus food. This active participation is based on self-organization which may be an important trend of transformation of food security system. Probably the state should support various forms of self-organization [23] in order to create incentives for more active participation in food sharing and to make interactions within self-organized communities more transparent [14, 19].

Discussion

As we demonstrated, the approach towards food security has substantially changed over the last decades thanks to expansion of digital technologies, emergence of new values (beyond traditional commercial goals and selfish interests) and self-organization. These transformations are presented in the table 7.

We should pay special attention to the transformation of roles of stakeholders of food security system. Examples of this transformation include:

- State-run food retail chains – the state shifts from the role of regulator and provider of financial support to people in need to the role of an active participant of food distribution system (this role is traditionally played by food retail chains);

- Commercial businesses go beyond sales and start providing access to food for free or at discounted prices. It introduces an element of charity into their business models;
- Customers, whose role has traditionally been limited to purchase of food, are becoming active food providers to people in need as they distribute excess food. This transformation is enabled by new ecological and social values as well as by digital technologies.

Table 7.

Evolution of food security

Traditional approach towards food security		New approach towards food security	
Income-based concept of food insecurity	Food support should be provided to people who have no access to food on market terms	Social concept of food insecurity	Social and emotional conditions of access to food should be taken into account
Single goal approach towards food security	The only goal of food security agents (charities, food banks etc) is to provide people with access to food	Multiple goal approach towards food security	Food security agents, along with access to food, should achieve other goals (commercial, environmental etc)
Single stakeholder role	Each stakeholder of the food security system has a single specific role	Complex stakeholder roles	Stakeholders of food security system should perform functions typical for other stakeholders

It means that the system of food security is becoming hybrid. This hybridity helps to increase efficiency of food provision as it helps to combine resources of different stakeholders. While the hybridization is now emerging naturally (as well as other features of the new approach towards food security presented in the table 8), it should be carefully analyzed in order to design a new hybrid system of food security and to develop a strategy of transition towards this new system. It should be noted that this hybridization of the food security system based on hybrid roles of stakeholders corresponds to current trends of evolution of economic organizations where stakeholders can perform various roles [24].

New food security system should also take into account the social concept of food security and multiple goal approach. It would ensure decent consumption for different groups of people in need and contribute to other important values (food waste reduction etc.).

Conclusion

The contribution of the present paper to the literature on food security is twofold. First, we demonstrate that, in addition to physical needs, social and emotional needs related to food consumption should be taken into account. Moreover, a new group of people whose food-related needs are not satisfied is identified. We describe this group as social eaters. These users have enough money to purchase basic food (or have other ways of access to food – for example, students who live with their parents), but cannot consume the food in the way they like. They cannot purchase more expensive or more prestigious food (for example, in restaurants). In other words, their models of food consumption do not correspond to their criteria of social acceptance. We demonstrate that specific needs of these people should be taken into account in food security models and that new business models emerge that are oriented towards these audiences.

Second, the role of digital tools in transformation of food security models should not be overestimated. An important trend of evolution of food security systems consists in transformation of roles of their stakeholders. Digital technologies (which are often considered the key factor of evolution of food security systems) only provide a support for this transformation. It means that these organizational developments should be included into new models of food security in order to more efficiently use limited resources and to provide people with a more equal access to food.

In our opinion, new food security systems should be hybrid. This hybridity includes:

- Hybrid approach towards the concept of food security (access to food should be oriented towards satisfaction of physiological, social and emotional needs);
- Hybrid goals of stakeholders of food security systems (in addition to access to food, they may achieve ecological, commercial etc. goals);
- Hybrid roles of stakeholders of food security systems (stakeholders may solve tasks that have traditionally been performed by other stakeholders).

Stakeholders of food security systems should find an effective balance within these hybrid models in order to ensure their own efficiency and to provide people with a guaranteed access to food. Developing recommendations to find this balance is an important direction of further research.

References

1. Bakharev V.V., Kapustina I.V., Mityashin G.Yu., Katrashova Yu.V. *Ekologizatsiya roznichnoy torgovli: analiz strategiy* [Ecologization of retail: an analysis

- of strategies]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2020, vol. 12, no. 5, pp. 79-96. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2020-12-5-79-96>
2. Kotlyarov I.D. Upravlenie monetizatsiy v restorannom biznese [Monetization management in the restaurant business]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Food Processing: Techniques and Technology], 2021, vol. 51, no. 1, pp. 146-158. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-146-158>
 3. Mityashin G.Yu. Transformatsiya prodovol'stvennoy bezopasnosti v usloviyakh postindustrial'noy ekonomiki [Transformation of food security in a post-industrial economy]. *Vestnik NGIEI* [Bulletin NGIEI], 2022, no. 9(136), pp. 120-135. <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-9-120-135>
 4. Ovchinnikov O.G. SSHA i problema poteri prodovol'stviya [The USA and the problem of food loss]. *Rossiya i Amerika v XXI veke* [Russia and USA in XXI century], 2022, no. 6. <https://doi.org/10.18254/S207054760023478-2>
 5. Stel'mashonok E.V., Stel'mashonok V.L. Tsifrovaya transformatsiya agropromyshlennogo kompleksa: analiz perspektiv [Digital transformation of the agro-industrial complex: analysis of prospects], *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 336-365. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-2-336-365>
 6. Tagarov B.Zh. Spetsifika ekonomiki sovместnogo potrebleniya i usloviya ee razvitiya [The specifics of the sharing economy and the conditions for its development]. *EKO* [ECO], 2019, no. 7(541), pp. 140-155.
 7. Shabanova M.A. Vybrasyvanie produktov i praktiki po "spaseniyu edy" v Rossii (mikrouroven' analiza) [Throwing out food and practices for "saving food" in Russia (micro-level analysis)]. *Ekonomicheskaya sotsiologiya* [Economic Sociology], 2022, vol. 23, no 1, pp. 11-38. <https://doi.org/10.17323/1726-3247-2022-1-11-38>
 8. Abdullin A., Vafin R., Turgel I., Khoroshkevich N. Food security of Russia - modern challenges and possible solutions. *E3S Web of Conferences*, 2021, vol. 282, pp. 01004. <https://doi.org/10.1051/E3SCONF/202128201004>
 9. Bakharev V., Mityashin G., Katrashova YU, Strelnikov A., Bugaenko A., Karachev V. The Impact of Industry 4.0 Technologies on Retail Development. *Digital Transformation on Manufacturing, Infrastructure and Service (DTMIS '20)*, 2021, article 93, pp. 1–7. <https://doi.org/10.1145/3446434.3446548>
 10. Barykin S.E., Kapustina I.V., Korchagina E.V., Sergeev S.M., Yadykin V.K., Abdimomynova A., Stepanova D. Digital Logistics Platforms in the BRICS Countries: Comparative Analysis and Development Prospects. *Sustainability*, 2021, vol. 13, pp. 11228. <https://doi.org/10.3390/SU132011228>
 11. Belyanina I.V., Mindlin YU.B., Mityashin G.YU. Enhancing public-private partnership efficiency by using life cycle contracts: A conceptual approach. *IOP*

- Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, pp. 012033. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/650/1/012033>
12. Clarke A., Parsell C. Resurgent charity and the neoliberalizing social. *Economy and Society*, 2022, vol. 51:2, pp. 307-329. <https://doi.org/10.1080/03085147.2021.1995977>
 13. Curtis S.K., Lehner M. Defining the Sharing Economy for Sustainability. *Sustainability*, 2019, vol. 11(3), pp. 567. <https://doi.org/10.3390/SU11030567>
 14. Ehrnström-Fuentes M, Leipämaa-Leskinen H. Boundary Negotiations in a Self-Organized Grassroots-Led Food Network: The Case of REKO in Finland. *Sustainability*, 2019, vol. 11(15), pp. 4137. <https://doi.org/10.3390/su11154137>
 15. Fedotova G.V., Kulikova N.N., Kurbanov A.K., Gontar A.A. Threats to food security of the Russia's population in the conditions of transition to digital economy. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2018, vol. 622, pp. 542–548. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75383-6_68
 16. Frenken K., Schor J. Putting the sharing economy into perspective. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 2017, vol. 23, pp. 3–10. <https://doi.org/10.1016/J.EIST.2017.01.003>
 17. Friedman C. Food insecurity of people with disabilities who were Medicare beneficiaries during the COVID-19 pandemic. *Disability and Health Journal*, 2021, vol. 14(4). <https://doi.org/10.1016/J.DHJO.2021.101166>
 18. Fuentes C., Cegrell O., Vesterinen J. Digitally enabling sustainable food shopping: App glitches, practice conflicts, and digital failure. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 2021, vol. 61, pp. 102546. <https://doi.org/10.1016/J.JRETCOSER.2021.102546>
 19. Gruvaeus A, Dahlin J. Revitalization of Food in Sweden—A Closer Look at the REKO Network. *Sustainability*, 2021, vol. 13(18), pp. 10471. <https://doi.org/10.3390/su131810471>
 20. Ianenko M., Ianenko M., Huhlaev D., Martynenko O. Digital transformation of trade: Problems and prospects of marketing activities. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 497(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/497/1/012118>
 21. Ianenko M., Ianenko M., Kirillova T., Amakhina S., Nikitina N. Digital transformation strategies of retail enterprises: key areas, development and implementation algorithms. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 940, 012051. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/940/1/012051>
 22. Ikramov R., Mityashin G. Ecologization of retail: Russian experience. *E3S Web of Conferences*, 2021, vol. 284, pp. 11018. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202128411018>

23. Kotliarov I. A taxonomy of business organizations: transport industry and beyond. *Transportation Research Procedia*, 2022, vol. 63, pp. 2165-2171. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.243>
24. Kotliarov I. Heterogeneity of stakeholders as an obstacle to development of co-operatives in Russia. *The Russian Peasant Studies*, 2022, vol. 7(4), pp. 20-32. <https://doi.org/10.22394/2500-1809-2022-7-4-20-32>
25. Krymov S., Kolgan M., Suvorova S., Martynenko O. Digital technologies and transformation of modern retail. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 497, 012126. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/497/1/012126>
26. Maiti M., Kotliarov I., Lipatnikov V. A future triple entry accounting framework using blockchain technology. *Blockchain: Research and Applications*, 2021, vol. 2(4), pp. 100037. <https://doi.org/10.1016/j.bcra.2021.100037>
27. Malenkov Y., Kapustina I., Kudryavtseva G., Shishkin V., Shishkin V. Digitalization and Strategic Transformation of Retail Chain Stores: Trends, Impacts, Prospects. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 2021, vol. 7(2), 108. <https://doi.org/10.3390/JOITMC7020108>
28. Mindlin Y., Mityashin G., Tikhomirov E. Innovative forms of organization of food provision for low-income and no-income people. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022, pp. 012125. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/949/1/012125>
29. Moore J.F. Business Ecosystems and the View from the Firm. *Antitrust Bulletin*, 2006, vol. 51(1), pp. 31–75. <https://doi.org/10.1177/0003603X0605100103>
30. Morone P., Marcello Falcone P., Imbert E., Morone A. Does food sharing lead to food waste reduction? An experimental analysis to assess challenges and opportunities of a new consumption model. *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 185, pp. 749-760. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.208>
31. Morrow O. Sharing food and risk in Berlin's urban food commons. *Geoforum*, 2019, vol. 99, pp. 202-212. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.09.003>
32. Narayan S. Time for Universal Public Distribution System: Food Mountains and Pandemic Hunger in India. *Indian Journal of Human Development*, 2021, vol. 15(3), pp. 503–514. <https://doi.org/10.1177/09737030211049007>
33. Parsell C., Clarke A. Charity and Shame: Towards Reciprocity. *Social Problems*, 2022, vol. 69, I. 2, pp. 436-452. <https://doi.org/10.1093/socpro/spaa057>
34. Plotnikov V., Nikitin Y., Maramygin M., Ilyasov R. National food security under institutional challenges (Russian experience). *International Journal of Sociology and Social Policy*, 2021, vol. 41(1–2), pp. 139–153. <https://doi.org/10.1108/IJSSP-03-2020-0074>

35. Plotnikov V., Vertakova Y. Formation of Networks as a Form of Business Integration. *Procedia Economics and Finance*, 2015, vol. 24, pp. 511–518. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00620-6](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00620-6)
36. Purdam K., Garratt E.A., Esmail A. Hungry? Food Insecurity, Social Stigma and Embarrassment in the UK. *Sociology*, 2016, vol. 50(6), pp. 1072–1088. <https://doi.org/10.1177/0038038515594092>
37. Purwanto M.R., Mukharrom T., Zhilyakov D.I., Pamuji E., Shankar K. Study the importance of business ethics and ethical marketing in digital Era. *Journal of Critical Reviews*, 2019, vol., 6(5), pp. 150-154. <https://doi.org/10.22159/JCR.06.05.26>
38. Revinova S., Ratner S., Lazanyuk I., Gomonov K. Sharing Economy in Russia: Current Status, Barriers, Prospects and Role of Universities. *Sustainability*, 2020, vol. 12(12), pp. 4855. <https://doi.org/10.3390/su12124855>
39. Richards T.J., Hamilton S.F. Food waste in the sharing economy. *Food Policy*, 2018, vol. 75, pp. 109-123. <https://doi.org/10.1016/J.FOODPOL.2018.01.008>.
40. Saginova O., Zavyalov D., Kireeva N., Zavyalova N., Saginov Y. Food-sharing in the distributed use economy. *E3S Web of Conferences*, 2021, vol. 247, pp. 01016. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124701016>
41. Sarkar S., Chakrabarti A. Rethinking the Formation of Public Distribution System: A Class-Focused Approach. *Review of Radical Political Economics*, 2022. Vol. 54(1), pp. 26–43. <https://doi.org/10.1177/048661342111034947>
42. Saxena A., Mohan S. The impact of food security disruption due to the Covid-19 pandemic on tribal people in India. *Advances in Food Security and Sustainability*, 2021, vol. 6, pp. 65–81. <https://doi.org/10.1016/BS.AF2S.2021.07.006>
43. Schanes K., Stagl S. Food waste fighters: What motivates people to engage in food sharing? *Journal of Cleaner Production*, 2019, vol. 211, pp. 1491-1501. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.162>
44. Simonovits B., Balázs B. From Uberisation to Commoning: Experiences, Challenges, and Potential Pathways of the Sharing Economy in Food Supply Chains in Europe. In: Česnuitytė, V., Klimczuk, A., Miguel, C., Avram, G. (eds) *The Sharing Economy in Europe*. Palgrave Macmillan, 2022, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86897-0_7
45. Vardomatskya L., Kuznetsova V., Plotnikov, V. The financial technologies transformation in the digital economy. *E3S Web of Conferences*, 2021, 244. <https://doi.org/10.1051/E3SCONF/202124410046>
46. Workie E., Mackolil J., Nyika J., Ramadas S. Deciphering the impact of COVID-19 pandemic on food security, agriculture, and livelihoods: A review of the evidence from developing countries. *Current Research in Environmental Sustainability*, 2020, vol. 2, pp. 100014. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2020.100014>

47. Zhichkin K., Nosov V., Zhichkina L., Ramazanov I., Kotyazhov I., Abdulragimov I. The food security concept as the state support basis for agriculture. *Agronomy Research*, 2021, vol. 19(2), pp. 629–637. <https://doi.org/10.15159/AR.21.097>

Список литературы

1. Бахарев В.В., Капустина И.В., Митяшин Г.Ю., Катрашова Ю.В. Экологизация розничной торговли: анализ стратегий // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2020. Т. 12, № 5. С. 79-96. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2020-12-5-79-96>
2. Котляров И.Д. Управление монетизацией в ресторанном бизнесе // *Техника и технология пищевых производств*. 2021. Т. 51, № 1. С. 146-158. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-146-158>
3. Митяшин Г.Ю. Трансформация продовольственной безопасности в условиях постиндустриальной экономики // *Вестник НГИЭИ*. 2022. № 9(136). С. 120-135. <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-9-120-135>
4. Овчинников О.Г. США и проблема потери продовольствия // *Россия и Америка в XXI веке*. 2022. № 6. <https://doi.org/10.18254/S207054760023478-2>
5. Стельмашонок Е.В., Стельмашонок В.Л. Цифровая трансформация агропромышленного комплекса: анализ перспектив // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 2. С. 336-365. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-2-336-365>
6. Тагаров Б.Ж. Специфика экономики совместного потребления и условия ее развития // *ЭКО*. 2019. № 7(541). С. 140-155.
7. Шабанова М.А. Выбрасывание продуктов и практики по «спасению еды» в России (микроуровень анализа) // *Экономическая социология*. 2022. Т. 23, № 1. С. 11-38. <https://doi.org/10.17323/1726-3247-2022-1-11-38>
8. Abdullin A., Vafin R., Turgel I., Khoroshkevich N. Food security of Russia - modern challenges and possible solutions // *E3S Web of Conferences*, 2021, vol. 282, pp. 01004. <https://doi.org/10.1051/E3SCONF/202128201004>
9. Bakharev V., Mityashin G., Katrashova YU, Strelnikov A., Bugaenko A., Karachev V. The Impact of Industry 4.0 Technologies on Retail Development // *Digital Transformation on Manufacturing, Infrastructure and Service (DTMIS '20)*, 2021. Article 93. pp. 1–7. <https://doi.org/10.1145/3446434.3446548>
10. Barykin S.E., Kapustina I.V., Korchagina E.V., Sergeev S.M., Yadykin V.K., Abdimomynova A., Stepanova D. Digital Logistics Platforms in the BRICS Countries: Comparative Analysis and Development Prospects // *Sustainability*, 2021, vol. 13, pp. 11228. <https://doi.org/10.3390/SU132011228>

11. Belyanina I.V., Mindlin YU.B., Mityashin G.YU. Enhancing public-private partnership efficiency by using life cycle contracts: A conceptual approach // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, pp. 012033, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/650/1/012033>
12. Clarke A., Parsell C. Resurgent charity and the neoliberalizing social // *Economy and Society*, 2022, vol. 51:2, 307-329. <https://doi.org/10.1080/03085147.2021.1995977>
13. Curtis S.K., Lehner M. Defining the Sharing Economy for Sustainability // *Sustainability*, 2019, vol. 11(3), pp. 567. <https://doi.org/10.3390/SU11030567>
14. Ehrnström-Fuentes M, Leipämaa-Leskinen H. Boundary Negotiations in a Self-Organized Grassroots-Led Food Network: The Case of REKO in Finland // *Sustainability*, 2019, vol. 11(15), pp. 4137. <https://doi.org/10.3390/su11154137>
15. Fedotova G.V., Kulikova N.N., Kurbanov A.K., Gontar A.A. Threats to food security of the Russia's population in the conditions of transition to digital economy // *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2018, vol. 622, pp. 542–548. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75383-6_68
16. Frenken K., Schor J. Putting the sharing economy into perspective // *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 2017, vol. 23, pp. 3–10. <https://doi.org/10.1016/J.EIST.2017.01.003>
17. Friedman C. Food insecurity of people with disabilities who were Medicare beneficiaries during the COVID-19 pandemic // *Disability and Health Journal*, 2021, vol. 14(4). <https://doi.org/10.1016/J.DHJO.2021.101166>
18. Fuentes C., Cegrell O., Vesterinen J. Digitally enabling sustainable food shopping: App glitches, practice conflicts, and digital failure // *Journal of Retailing and Consumer Services*, 2021, vol. 61, pp. 102546. <https://doi.org/10.1016/J.JRETCONSER.2021.102546>
19. Gruvaeus A, Dahlin J. Revitalization of Food in Sweden—A Closer Look at the REKO Network // *Sustainability*, 2021, vol. 13(18), pp. 10471. <https://doi.org/10.3390/su131810471>
20. Ianenko M., Ianenko M., Huhlaev D., Martynenko O. Digital transformation of trade: Problems and prospects of marketing activities // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, vol. 497(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/497/1/012118>
21. Ianenko M., Ianenko M., Kirillova T., Amakhina S., Nikitina N. Digital transformation strategies of retail enterprises: key areas, development and implementation algorithms // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, vol. 940, 012051. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/940/1/012051>

22. Ikramov R., Mityashin G. Ecologization of retail: Russian experience // E3S Web of Conferences, 2021, vol. 284, pp. 11018. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202128411018>
23. Kotliarov I. A taxonomy of business organizations: transport industry and beyond // Transportation Research Procedia, 2022, vol. 63, pp. 2165-2171. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.243>
24. Kotliarov I. Heterogeneity of stakeholders as an obstacle to development of co-operatives in Russia // The Russian Peasant Studies, 2022, vol. 7(4), pp. 20-32. <https://doi.org/10.22394/2500-1809-2022-7-4-20-32>
25. Krymov S., Kolgan M., Suvorova S., Martynenko O. Digital technologies and transformation of modern retail // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, vol. 497, 012126. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/497/1/012126>
26. Maiti M., Kotliarov I., Lipatnikov V. A future triple entry accounting framework using blockchain technology // Blockchain: Research and Applications, 2021, vol. 2(4), pp. 100037. <https://doi.org/10.1016/j.bera.2021.100037>
27. Malenkov Y., Kapustina I., Kudryavtseva G., Shishkin V., Shishkin V. Digitalization and Strategic Transformation of Retail Chain Stores: Trends, Impacts, Prospects // Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, 2021, vol. 7(2), 108. <https://doi.org/10.3390/JOITMC7020108>
28. Mindlin Y., Mityashin G., Tikhomirov E. Innovative forms of organization of food provision for low-income and no-income people // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022, pp. 012125. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/949/1/012125>
29. Moore J.F. Business Ecosystems and the View from the Firm // Antitrust Bulletin, 2006, vol. 51(1), pp. 31–75. <https://doi.org/10.1177/0003603X0605100103>
30. Morone P., Marcello Falcone P., Imbert E., Morone A. Does food sharing lead to food waste reduction? An experimental analysis to assess challenges and opportunities of a new consumption model // Journal of Cleaner Production, 2018, vol. 185, pp. 749-760. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.208>
31. Morrow O. Sharing food and risk in Berlin's urban food commons // Geoforum, 2019, vol. 99, pp. 202-212. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.09.003>
32. Narayan S. Time for Universal Public Distribution System: Food Mountains and Pandemic Hunger in India // Indian Journal of Human Development, 2021, vol. 15(3), pp. 503–514. <https://doi.org/10.1177/097370302111049007>
33. Parsell C., Clarke A. Charity and Shame: Towards Reciprocity // *Social Problems*, 2022, vol. 69, I. 2, pp. 436-452. <https://doi.org/10.1093/socpro/spaa057>
34. Plotnikov V., Nikitin Y., Maramygin M., Ilyasov R. National food security under institutional challenges (Russian experience) // International Journal of Sociolo-

- gy and Social Policy, 2021, vol. 41(1–2), pp. 139–153. <https://doi.org/10.1108/IJSSP-03-2020-0074>
35. Plotnikov V., Vertakova Y. Formation of Networks as a Form of Business Integration // *Procedia Economics and Finance*, 2015, vol. 24, pp. 511–518. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00620-6](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00620-6)
 36. Purdam K., Garratt E.A., Esmail A. Hungry? Food Insecurity, Social Stigma and Embarrassment in the UK // *Sociology*, 2016, vol. 50(6), pp. 1072–1088. <https://doi.org/10.1177/0038038515594092>
 37. Purwanto M.R., Mukharrom T., Zhilyakov D.I., Pamuji E., Shankar K. Study the importance of business ethics and ethical marketing in digital Era // *Journal of Critical Reviews*, 2019, vol., 6(5), pp. 150-154. <https://doi.org/10.22159/JCR.06.05.26>
 38. Revinova S., Ratner S., Lazanyuk I., Gomonov K. Sharing Economy in Russia: Current Status, Barriers, Prospects and Role of Universities // *Sustainability*, 2020, vol. 12(12), pp. 4855. <https://doi.org/10.3390/su12124855>
 39. Richards T.J., Hamilton S.F. Food waste in the sharing economy // *Food Policy*, 2018, vol. 75, pp. 109-123. <https://doi.org/10.1016/J.FOODPOL.2018.01.008>
 40. Saginova O., Zavyalov D., Kireeva N., Zavyalova N., Saginov Y. Food-sharing in the distributed use economy // *E3S Web of Conferences*, 2021, vol. 247, pp. 01016. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124701016>
 41. Sarkar S., Chakrabarti A. Rethinking the Formation of Public Distribution System: A Class-Focused Approach // *Review of Radical Political Economics*, 2022. Vol. 54(1), pp. 26–43. <https://doi.org/10.1177/048661342111034947>
 42. Saxena A., Mohan S. The impact of food security disruption due to the Covid-19 pandemic on tribal people in India // *Advances in Food Security and Sustainability*, 2021, vol. 6, pp. 65–81. <https://doi.org/10.1016/BS.AF2S.2021.07.006>
 43. Schanes K., Stagl S. Food waste fighters: What motivates people to engage in food sharing? // *Journal of Cleaner Production*, 2019, vol. 211, pp. 1491-1501. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.162>
 44. Simonovits B., Balázs B. From Uberisation to Commoning: Experiences, Challenges, and Potential Pathways of the Sharing Economy in Food Supply Chains in Europe. In: Česnuitytė, V., Klimczuk, A., Miguel, C., Avram, G. (eds) *The Sharing Economy in Europe*. Palgrave Macmillan, 2022, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86897-0_7
 45. Vardomatskya L., Kuznetsova V., Plotnikov, V. The financial technologies transformation in the digital economy // *E3S Web of Conferences*, 2021, vol. 244. <https://doi.org/10.1051/E3SCONF/202124410046>
 46. Workie E., Mackolil J., Nyika J., Ramadas S. Deciphering the impact of COVID-19 pandemic on food security, agriculture, and livelihoods: A review of the evidence

- from developing countries // *Current Research in Environmental Sustainability*, 2020, vol. 2, pp. 100014. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2020.100014>
47. Zhichkin K., Nosov V., Zhichkina L., Ramazanov I., Kotyazhov I., Abdulragimov I. The food security concept as the state support basis for agriculture // *Agronomy Research*, 2021, vol. 19(2), pp. 629–637. <https://doi.org/10.15159/AR.21.097>

AUTHOR CONTRIBUTIONS

- Vladimir V. Bakharev:** conceptualization, research methodology.
Gleb Yu. Mityashin: conceptualization, first draft, data collection and analysis.
Elena V. Stelmashonok: data collection and analysis, manuscript editing.
Vitaly L. Stelmashonok: data collection and analysis.
Grigory G. Chargasiya: data collection and analysis, manuscript editing.

ВКЛАД АВТОРОВ

- Бахарев В.В.:** разработка концепции научной работы, выбор методологии исследования.
Митяшин Г.Ю.: разработка концепции научной работы, сбор и анализ данных, составление черновика рукописи.
Стельмашонок Е.В.: сбор и анализ данных, составление черновика рукописи, литературное редактирование рукописи.
Стельмашонок В.Л.: сбор и анализ данных.
Чаргазия Г.Г.: сбор и анализ данных, литературное редактирование рукописи, оформление рукописи.

DATA ABOUT THE AUTHORS

- Vladimir V. Bakharev**, Cand. Sc. (Economics), Associate Professor, Head of the Study Program “Trade Business”
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
50, Novorossiyskaya Str., St. Petersburg, 194021, Russian Federation
baharev_vv@spbstu.ru
SPIN-code: 2199-2227
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0845-0781>
Scopus Author ID: 57093448400

- Gleb Yu. Mityashin**, Master Student, “Trade Business” Program
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
50, Novorossiyskaya Str., St. Petersburg, 194021, Russian Federation

gleb.mityashin@yandex.ru

SPIN-code: 9998-8553

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0416-7556>

Scopus Author ID: 57222628183

Elena V. Stelmashonok, Dr.Sc. (Economics), Professor

St. Petersburg State University of Economics

30-32A, Naberezhnaya kanala Griboedova, St. Petersburg, 191023, Russian Federation

SPIN-code: 9851-3776

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8414-8181>

Scopus Author ID: 56716517900

Vitaly L. Stelmashonok, Cand. Sc. (Economics), Associate Professor

St. Petersburg State University of Economics

30-32A, Naberezhnaya kanala Griboedova, St. Petersburg, 191023, Russian Federation

SPIN-code: 4799-8094

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9554-9236>

Scopus Author ID: 56716202200

Grigory G. Chargasiya, Cand. Sc. (Economy), associate professor

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University

Novorossiysk str., 50, St. Petersburg, 194021, Russian Federation

chargaziya_gg@spbstu.ru

SPIN-code: 5427-7135

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4858-3666>

Scopus Author ID: 57208468339

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Бахарев Владимир Васильевич, к.э.н., доцент, руководитель ООП «Торговое дело»

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

ул. Новороссийская, 50, г. Санкт-Петербург, 194021, Российская Федерация

baharev_vv@spbstu.ru

Митяшин Глеб Юрьевич, магистрант направления «Торговое дело»

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

ул. Новороссийская, 50, г. Санкт-Петербург, 194021, Российская Федерация

gleb.mityashin@yandex.ru

Стельмашонок Елена Викторовна, д.э.н., профессор

*Санкт-Петербургский государственный экономический университет
Набережная канала Грибоедова, 30-32А, г. Санкт-Петербург,
191023, Российская Федерация*

vitaminew@gmail.com

Стельмашонок Виталий Леонидович, к.э.н., доцент

*Санкт-Петербургский государственный экономический университет
Набережная канала Грибоедова, 30-32А, г. Санкт-Петербург,
191023, Российская Федерация*

stelmashonok@gmail.com

Чаргазия Григорий Григорьевич, к.э.н., доцент

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

ул. Новороссийская, 50, г. Санкт-Петербург, 194021, Российская Федерация

chargaziya_gg@spbstu.ru

Поступила 15.01.2023

После рецензирования 07.02.2023

Принята 21.02.2023

Received 15.01.2023

Revised 07.02.2023

Accepted 21.02.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-392-434

УДК 616.891.4



Обзорная статья

ПРЕПАРАТЫ ХОЛИНА В ЛЕЧЕНИИ АСТЕНИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ: СОВРЕМЕННОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ КЛИНИЧЕСКОГО СЛУЧАЯ)

К.Ш. Магомедова, Ю.В. Быков, Р.А. Беккер

Цель исследования. Представить читателю подробное описание биохимических и физиологических эффектов холина, делающих его незаменимым компонентом пищи, а также имеющиеся клинические данные по применению препаратов холина для лечения астенических и/или астено-депрессивных состояний, когнитивных нарушений. Затем представить читателю клинический случай из нашей собственной практики, иллюстрирующий эффективность применения холина альфосцерата в составе комплексной терапии лёгкой формы постковидного астено-депрессивного синдрома у 19-летнего юноши, отказывавшегося от приёма антидепрессантов и любых других психотропных средств, но при этом желавшего получить лечение, составленное «только из натуральных компонентов».

Методология проведения работы. Мы провели поиск в базах данных PubMed, Google Scholar, Web of Science, по таким ключевым словам, как «choline biochemistry», «choline and phospholipids», «choline and betaine», «arsenolipids», «nitrolipids», «choline and cognition», «choline and asthenia». Найденные нами данные мы отфильтровали по релевантности, затем обобщили и представили в теоретической части данной статьи. Затем мы подробно описали встретившийся в нашей собственной практике клинический случай эффективного применения холина альфосцерата в комплексной терапии постковидного астено-депрессивного состояния.

Результаты. Полученные нами в ходе составления настоящего обзора результаты, на наш взгляд, позволяют сделать предварительные выводы о возможной перспективности применения препаратов холина (и, в частности, холина альфосцерата) в монотерапии или в составе комплексной терапии астенических и/или астено-депрессивных состояний (особенно сопровожда-

ющихся нарушениями памяти, концентрации внимания, повышенной умственной утомляемостью), в том числе вызванных перенесённым в ближайшем анамнезе COVID-19 (то есть развившихся в рамках постковидного синдрома).

Для окончательных же выводов об эффективности и безопасности применения препаратов холина в данном контексте – необходимы организация и проведение крупных, многоцентровых, хорошо продуманных двойных слепых плацебо-контролируемых рандомизированных клинических испытаний (РКИ), с заранее чётко определёнными конечными точками, в качестве которых должны быть приняты клинически значимые исходы в лечении астении.

Область применения результатов. Мы считаем, что полученные нами результаты позволяют считать оправданным и целесообразным дальнейшее исследование эффективности и безопасности применения препаратов холина в монотерапии или в составе комплексной терапии астенических и астено-депрессивных состояний, прежде всего – в формате крупных, многоцентровых, методологически безупречных, двойных слепых плацебо-контролируемых РКИ с заранее чётко определёнными конечными точками.

Ключевые слова: холин; холина альфосцерат; фосфолипиды; сфинголипиды; бетаин; арсенобетаин; арсенолипиды; нитролипиды; астения; депрессия; когнитивные нарушения; постковидный синдром

Для цитирования: Магомедова К.Ш., Быков Ю.В., Беккер Р.А. Препараты холина в лечении астенических состояний: современность и перспективы (Обзор литературы и представление клинического случая) // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №2. С. 392-434. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-392-434

Scientific review

CHOLINE PREPARATIONS IN THE TREATMENT OF ASTHENIC STATES: MODERNITY AND PERSPECTIVES (A LITERATURE REVIEW WITH A CLINICAL CASE PRESENTATION)

K.Sh. Magomedov, Yu.V. Byko, R.A. Bekker

Purpose. To provide the reader with a detailed description of the biochemical and physiological effects of choline, which make it an indispensable component of our daily food. Then to thoroughly review all the relevant clinical data on the use

of choline preparations for the treatment of asthenic and astheno-depressive conditions and cognitive impairments. Then, to present the reader with a clinical case from our own practice, illustrating the effectiveness of the use of choline alfoscerate as part of the combination therapy of a mild form of post-COVID astheno-depressive syndrome in a 19-year-old man who have refused to take antidepressants, as well as any other psychotropic drugs, but instead wanted some form of pharmacotherapy based exclusively on «natural components».

Methodology. *We have searched PubMed, Google Scholar, Web of Science databases for keywords such as «choline biochemistry», «choline and phospholipids», «choline and betaine», «arsenolipids», «nitrolipids», «choline and cognition», «choline and asthenia». Then we filtered the data we had found by their relevance. Then we summarized and presented the relevant data in the theoretical part of this article. Then we described in detail the clinical case of the effective use of choline alfoscerate in the complex therapy of post-COVID asthenic-depressive state which we have encountered in our own practice.*

Results. *The results we have obtained during compilation of this review, in our opinion, may allow us to draw preliminary conclusions about the possible prospects for the use of choline preparations (and, in particular, choline alfoscerate preparations) in monotherapy or as part of combination therapy of asthenic and / or astheno-depressive states (especially if those states are accompanied by impaired memory, concentration, increased mental fatigue), including those states that were caused by a recent history of COVID-19 (that is, asthenic or astheno-depressive states developed as part of the post-covid syndrome).*

To be able to make any further, more firm conclusions regarding the efficacy and safety of the use of choline-containing preparations in this context, it will be necessary to organize and conduct large, multicenter, methodologically sound, double-blind, placebo-controlled, randomized clinical trials (RCTs), with clinically meaningful and relevant outcomes in the treatment of asthenia clearly defined as trial endpoints in advance (before starting the trial itself).

Practical implications. *We believe that the results we have presented in this review justify the need to further study the efficacy and safety of the use of choline preparations, both as monotherapy and as a part of combination therapy of asthenic and astheno-depressive conditions, preferably in the format of large, multicenter, well organized, methodologically sound, double-blind, placebo-controlled RCTs with clearly pre-defined clinically meaningful and relevant endpoints.*

Keywords: *choline; choline alfoscerate; phospholipids; sphingolipids; betaine; arsenobetaine; arsenolipids; nitrolipids; asthenia; depression; cognitive impairment; long COVID syndrome*

For citation. Magomedova K.Sh., Bykov Yu.V., Bekker R.A. Choline Preparations in the Treatment of Asthenic States: Modernity and Perspectives (a Literature Review with a Clinical Case Presentation). Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 392-434. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-392-434

Введение (Обоснование актуальности)

Астенические состояния известны в медицине давно. Астения является неспецифическим симптомокомплексом, который может развиваться в рамках огромного количества самых разных заболеваний – как психических и неврологических (депрессивные, тревожные и связанные со стрессом расстройства, нейрокогнитивные нарушения, шизофрения, последствия черепно-мозговой травмы (ЧМТ), мозгового инсульта и др.), так и общесоматических (онкологические заболевания, аутоиммунные заболевания, перенесённые тяжёлые инфекции, недостаточность надпочечников, щитовидной железы и др.) [61].

Однако особую актуальность проблема астенических состояний, их диагностики и дифференциальной диагностики, выявления их причин и механизмов их развития, и эффективного их лечения – приобрела именно в наши дни, в связи с тем, что бушующая в мире пандемия COVID-19 в большом проценте случаев (от 50% до 80% от всех переболевших) – оставляет после себя у переболевших длительный, на много недель, много месяцев или даже на несколько лет, так называемый «постковидный синдром», одним из основных проявлений которого является как раз астенический синдром, «постковидная астения» (но могут иметься и другие проявления, например, постковидные нейрокогнитивные нарушения, постковидная депрессия, постковидная тревога или бессонница) [64].

Возросшая актуальность проблемы астенических состояний на современном этапе закономерно приводит как учёных, так и практикующих клиницистов к необходимости поиска новых методов их лечения.

В данной статье мы показываем, почему и каким образом препараты холина, и в частности холина альфосцерат, могут быть эффективными и безопасными средствами лечения астенических состояний вообще, и постковидной астении – в частности.

Почему холин?

Само название «холин» происходит от греческого слова «холе», обозначающего желчь. Это связано с тем, что впервые холин был выделен Адольфом Штреккером в 1862-м году из бычьей желчи, а также с тем, что

холин-содержащие фосфолипиды необходимы для эмульгирования желчи и поддержания растворимости в ней желчных кислот и холестерина [77].

Важная биологическая роль холина в организмах человека и животных и необходимость ежедневного поступления с пищей достаточного количества экзогенного холина не были известны до 1930-х годов, когда канадский биохимик, врач и физиолог Чарльз Бест, к тому времени уже прославившийся открытием и выделением инсулина, убедительно показал, что полное лишение экспериментальных собак и крыс поступления экзогенного холина с пищей вызывает у них жировую дистрофию печени, а также целый ряд других нарушений (ухудшение качества шерсти, бесплодие, невынашивание беременности, гипогонадизм, снижение надпочечникового резерва и устойчивости животных к нервно-психическим стрессам, нарушения иммунитета), и что все эти нарушения корректируются повторным введением холина в пищу [77].

Ещё в 1998 году в США Национальный институт питания констатировал, что холин является важным питательным веществом, и что он должен, наряду с незаменимыми аминокислотами, моно- и полиненасыщенными жирными кислотами, витаминами и минералами, ежедневно поступать с пищей в достаточных количествах, для поддержания оптимального состояния здоровья человека [25].

Достаточное поступление холина с пищей особенно важно для некоторых категорий населения (для беременных и кормящих матерей, для пожилых людей, у которых снижается всасывание холина в кишечнике, для детей и подростков в связи с быстрым ростом их организмов), а также при некоторых заболеваниях – как психических, так и соматических [9, 78].

Несмотря на то, что холин ещё в 1998-м году приобрёл статус незаменимого питательного вещества – 10 лет спустя, в 2008-м году, как минимум 75% взрослых американцев по-прежнему потребляли с пищей меньше рекомендованного американским Национальным институтом питания предположительно адекватного его количества [79].

Причин жизненной необходимости адекватного поступления экзогенного холина для нашего организма достаточно много. Во-первых, холин необходим для биосинтеза холин-содержащих фосфолипидов и сфинголипидов, таких, как фосфатидилхолин (ФХ) и сфингомиелин (СМ) – два основных мембранных фосфолипида, которые присутствуют в мембранах клеток и клеточных органелл во всех тканях, а также во многих секретах организма (в желчи, в липопротеинах плазмы крови, в лёгочном сурфактанте, в стероид-секреторных гранулах надпочечников, гонад и плаценты) [14].

Жизненная важность ФХ и СМ очевидна и из того факта, что их биосинтез и их содержание в мембранах клеток и клеточных органелл находятся под очень жёстким гомеостатическим контролем [14].

Кроме того, ФХ необходим для обеспечения метаболизма сфинголипидов, поскольку он, наряду с церамидами, является субстратом для возвратного ресинтеза ферментом сфингомиелин-синтетазой (ЕС 2.7.8.27) СМ из продуктов его распада (церамидов), обладающих нежелательными про-аппототическими и про-воспалительными свойствами [18].

Ещё одной важной физиологической функцией холина является его участие в образовании бетаина (триметилглицина), до которого он окисляется при помощи фермента холин-оксидазы. Между тем бетаин – является, с одной стороны, осмолитом, важным для регуляции внутриклеточного осмотического давления и для защиты клеток от осмотического стресса, и веществом, важным для функции почечных канальцев (его дефицит вызывает повреждение канальцев почек, гематурию и протеинурию), а с другой – важным донором метильных радикалов [14, 59].

В печени бетаин, образующийся при окислении холина, используется для регенерации метионина из гомоцистеина. Через своё косвенное участие в образовании S-аденозил-метионина (SAMe), и в образовании при помощи SAMe L-метилфолата и метилкобаламина – холин косвенно обслуживает огромное количество важнейших процессов метилирования в организме, от биосинтеза креатина до эпигенетического контроля посредством метилирования нуклеотидов ДНК (при участии ДНК-метилтрансфераз, DNMT) и/или аминокислот в составе гистоновых белков (при участии гистон-метилтрансфераз, HMT) [14, 59].

Третья важная биологическая функция холина заключается в образовании из него ацетилхолина (АХ) – одного из важнейших нейромедиаторов – под действием фермента холин-ацетилтрансферазы (ХАТ). Образовавшийся АХ запасается в гранулах. В момент синаптической передачи холинергического сигнала АХ выделяется в синапс нервной клетки (или в нервно-мышечный синапс, интерфейс между нервной и мышечной клетками). Прекращение воздействия АХ на постсинаптическую клетку реализуется либо обратным гидролизом АХ до холина и ацетил-коэнзима А при участии фермента ацетилхолинэстеразы (АХЭ), либо обратным захватом и транспортом АХ в выделившую его пресинаптическую клетку [8, 68].

Около $\frac{1}{3}$ всего холина, необходимого нашему организму, мы способны синтезировать *de novo* самостоятельно или получать от кишечной микрофлоры. Однако биосинтез холина *de novo* не может покрыть все потреб-

ности организма человека или животного в этом веществе. Поэтому более чем $\frac{2}{3}$ общей суточной потребности в холине мы должны получать извне – в виде пищевых продуктов и/или биологически активных добавок (БАД) в пищу. Существуют рекомендованные суточные нормы минимального адекватного потребления холина для людей разного возраста и пола [8].

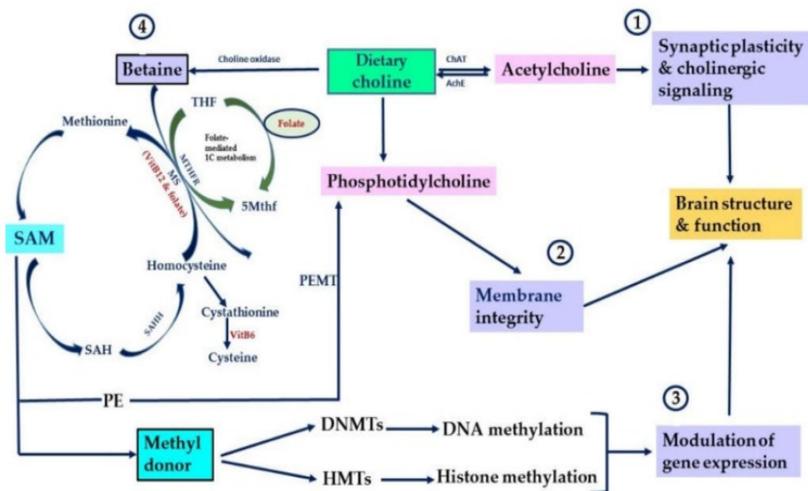


Рис. 1. Ключевые физиологические функции холина и его метаболитов [8]

Содержание холина и его метаболитов в организме находится под жёстким гомеостатическим контролем. Оно зависит от динамического равновесия между двумя путями поступления холина в организм (поступление его извне с пищей – $\frac{2}{3}$ от общей потребности, и биосинтез его *de novo* по так называемому ФЭМТ-пути – $\frac{1}{3}$ от общей потребности), и двумя путями утилизации или распада холина (окисление холина до бетаина и экскреция фосфолипидов с желчью и в конечном итоге с калом), как показано на рисунке № 2 [40].

Если снижается поступление холина с пищей, или его всасывание в кишечнике, или его биосинтез *de novo*, или если возникают повышенные потребности тканей в холине (например, вследствие стресса), или если увеличиваются потери фосфолипидов с калом (например, при диарее), или усиливается окисление холина (при окислительном стрессе) – то возникает дисбаланс, который приводит к развитию дефицита холина в организме [40].

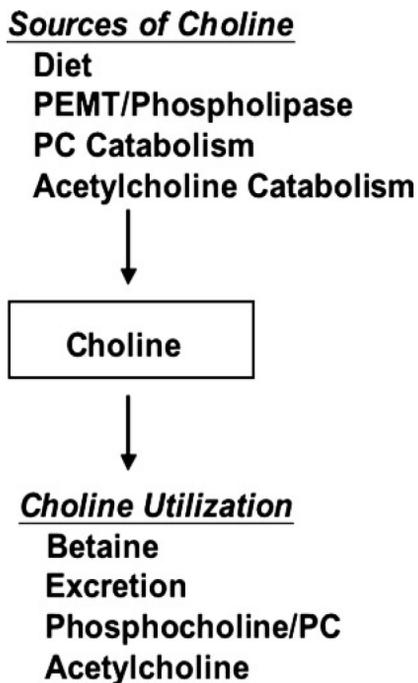


Рис. 2. Баланс холина в организме определяется динамическим равновесием между поступлением холина и его использованием. Содержание холина в организме регулируется в соответствии с тем количеством, которое получено с пищей, обратно гидролизовано из фосфолипидов или из АХ, или синтезировано de novo по ФЭМТ-пути, за вычетом того количества, которое использовано для тех или иных целей (биосинтеза бетаина, ФХ, АХ) или экскретировано с желчью [40].

Холин, мембранные фосфолипиды и устойчивость мозга к стрессовым воздействиям

Как мы уже упоминали выше, холин является прекурсором в биосинтезе нескольких важных мембранных фосфолипидов, таких, как ФХ и СМ, но также фосфатидилэтанолamina (ФЭ) и фосфатидилсерина (ФС) [8].

Эти фосфолипиды, особенно два холин-содержащих фосфолипида (ФХ и СМ) очень важны для поддержания структурной и функциональной целостности мембран клеток и клеточных органелл, их пластичности, текучести и устойчивости к вредным воздействиям. Особенно богаты холин-содержащими фосфолипидами (ФХ и СМ) как раз мембраны нерв-

ных и глиальных клеток, и они же – наиболее зависимы от адекватного поступления холина [8].

Помимо построения и поддержания структурной и функциональной целостности мембран клеток и клеточных органелл, холин-содержащие фосфолипиды активно участвуют также во многих других физиологических процессах, необходимых для обеспечения нормального развития и функционирования мозга, включая внутриклеточную передачу сигналов (например, церамидного или диацилглицеролового сигнала), миелинизацию аксонов, деление нервных и глиальных клеток (нейрогенез и глиогенез), регуляцию воспалительной активности нейроглии, регуляцию апоптоза нервных и глиальных клеток и др. [66].

Показано, что холин и ФХ обладают терапевтическим потенциалом при повреждениях как периферической нервной системы (например, при болезненных периферических нейропатиях), так и ЦНС (например, после инсульта или ЧМТ), в том числе из-за антиоксидантных свойств и способности модулировать воспалительную активность нейроглии [67].

Холин и холин-содержащие фосфолипиды оказывают выраженное нейропротективное действие как в различных экспериментальных моделях на животных, так и у людей. В экспериментальных моделях на животных нейропротективное действие холина и холин-содержащих фосфолипидов проявлялось в таких разных ситуациях, как старение, пренатальное воздействие алкоголя, анестетиков (изофлюран), повторяющиеся эпилептиформные судороги, генно-модифицированные животные аналоги синдрома Ретта и синдрома Дауна у человека [44, 51, 71, 81].

Одно из возможных объяснений положительного влияния приёма дополнительных количеств холина на когнитивные функции взрослых людей, как больных, так и здоровых – заключается в том, что холин является предшественником в биосинтезе ФХ, важнейшего фосфолипида мембран нервных и глиальных клеток, и что приём дополнительных количеств холина способствует увеличению биосинтеза ФХ в мозгу [13].

При болезни Альцгеймера (БА) метаболизм мембранных фосфолипидов патологически изменен. Доказательства этого были получены ещё в 1980-х и 1990-х годах в ходе посмертных исследований образцов головного мозга пациентов с БА, в ходе которых было обнаружено патологическое снижение уровней ФХ и ФЭ и патологическое повышение уровней их метаболитов (глицерофосфохолина и глицерофосфоэтаноламина) в коре больших полушарий мозга пациентов с БА, причём не только в сравнении с контрольной группой условно здоровых людей того же возраста, умер-

ших не от болезней мозга, но и в сравнении с пациентами, имевшими при жизни такие заболевания, как синдром Дауна, болезнь Паркинсона (БП), болезнь Хантингтона (БХ), болезнь Вильсона-Коновалова (БВК) [12].

Холинергическая иннервация в центральной нервной системе, когнитивная функция и уровень бодрствования

Как мы уже упоминали выше, холин является прекурсором в биосинтезе АХ, причём его уровень является фактором, ограничивающим скорость биосинтеза АХ. Поэтому потребление холина с пищей влияет на холинергическую нейротрансмиссию в различных областях мозга. Между тем АХ – это ключевой нейромедиатор, участвующий в регуляции процессов обучения, концентрации внимания, памяти (запоминания и воспроизведения), эмоциональной сферы, уровня бодрствования, ритмики REM-сна [8, 19, 61, 68].

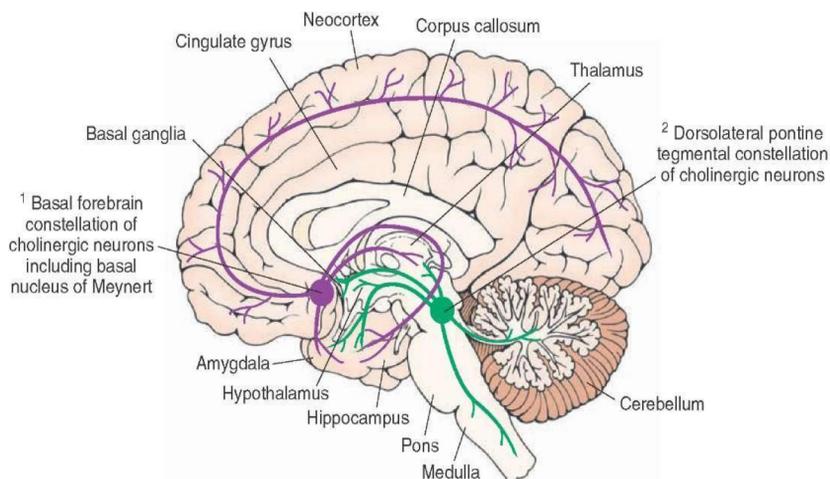


Рис. 3. Холинергическая система мозга. Основные группы холинергических клеток в головном мозге – это базальные ядра переднего мозга (в том числе так называемое «ядро Мейнерта»), а также педункулопонтинное и латеродорсальное ядра гипоталамуса. От этих ядер исходит обильная холинергическая возбуждающая иннервация во многие другие области мозга, включая кору больших полушарий, гиппокамп, миндалину, таламус, мост, мозжечок, ствол мозга и спинной мозг.

Как показано на рисунке № 3, в нашем мозгу имеется два основных места скопления холинергических нейронов. Оба они – очень небольшие, но оба играют очень важную физиологическую роль. Первое из этих двух

мест – это так называемые базальные ядра переднего мозга, в том числе – описанное впервые ещё Теодором Мейнертом в конце 19-го века ядро, ныне названное в его честь «ядром Мейнерта», а второе – это так называемые латеродорсальное и педункулопонтинное ядра гипоталамуса и холинергические ядра варолиева моста [61, 68].

Базальные ядра переднего мозга играют очень важную роль в регуляции концентрации внимания, памяти и обучаемости (в частности, как раз ядро Мейнерта – очень важно для концентрации внимания), а также в поддержании бодрствования. Разрушение базальных ядер приводит к выраженным когнитивным нарушениям, особенно нарушениям памяти и концентрации внимания, а также к развитию патологической сонливости [61, 68].

Холинергические ядра в гипоталамусе и в варолиевом мосту принимают участие в регуляции REM-сна (в частности, именно их активностью объясняют яркие цветные сновидения в этой фазе сна) и в ночной переработке накопленной за день информации, в регуляции уровня бодрствования или уровня сознания, эндокринных функций, эмоциональной сферы, мышечного тонуса (через нисходящие влияния на спинной мозг), координации движений (через влияние на мозжечок), а также в модуляции болевой чувствительности (через влияние на гейты ноцицепции в спинном мозге) [61, 68].

Уже из этого перечисления физиологических функций холинергической системы мозга – очевидно, насколько важную роль она играет, и к каким тяжёлым последствиям может приводить её повреждение. И напротив – препараты, улучшающие холинергическую передачу (ингибиторы ацетилхолинэстеразы – ИАХЭ, а также холин или ФХ, как прекурсоры в биосинтезе АХ) – оказывают положительное влияние не только на память и когнитивные функции, но и на концентрацию внимания, и на уровень бодрствования [61, 68].

В частности, встречаются клинические ситуации, когда применение «классических» психостимуляторов (ПС), таких, как амфетамин или метилфенидат, которые увеличивают дофаминергическую и/или норадренергическую нейротрансмиссию, оказывается неэффективным или недостаточно эффективным в лечении синдрома дефицита внимания и гиперактивности (СДВГ), или в устранении патологической сонливости (например, у пациентов с нарколепсией или с идиопатической гиперсомнией), а альтернативное или дополнительное к стандартной терапии воздействие на холинергическую систему – приводит к клиническому улучшению у этих пациентов [61, 68].

Кроме того, следует отметить, что холинергическая стимуляция, так же как и моноаминергическая, обладает нейротрофическим действием и приводит к повышению концентрации BDNF, усилению процессов нейрогенеза и торможению апоптоза нервных клеток [1, 61, 68].

А поскольку при депрессивных расстройствах, наряду с изменениями в моноаминергических системах, обнаруживаются также закономерные изменения в активности холинергической системы мозга и в составе компонентов мембранных фосфолипидов – то существует достаточно немалая подгруппа пациентов с депрессиями, резистентными к стандартной терапии антидепрессантами (АД), которым может принести терапевтическую пользу дополнительная активация холинергической системы мозга при помощи ИАХЭ или препаратов холина [1, 61, 68].

Этого особенно можно ожидать при депрессиях на фоне деменции, а также при депрессиях, протекающих с выраженными когнитивными нарушениями, с вяло-апатическими или астеническими явлениями, с «атипичными» признаками, включая патологически повышенную сонливость вместо бессонницы [1, 61, 68].

Холина альфосцерат, также называемый L-альфа-глицерилфосфорилхолином – это природное (образующееся в нашем организме и в организмах животных) соединение, которое является непосредственным прекурсором в биосинтезе АХ [56].

Показано, что приём экзогенного холина альфосцерата усиливает биосинтез АХ в мозгу, причём в большей степени, чем приём холина хлорида или холина битартрата [56].

Помимо своего непосредственного влияния на биосинтез АХ, холин также модулирует экспрессию в мозгу ряда ключевых генов, связанных с памятью, обучением и когнитивными функциями, за счёт своего влияния на биосинтез бетаина, процессы метилирования и эпигенетические механизмы, а также за счёт нейротрофического действия (влияния на биосинтез BDNF и других факторов роста нервных клеток) [8].

Неоднократно подчёркивалась та центральная роль, которую играют нарушения в работе холинергической системы мозга, в патофизиологии деменции, когнитивных нарушений различного генеза (в частности, когнитивных нарушений на фоне депрессии или СДВГ), патологической сонливости и др. [8, 61, 68].

Было показано, что потребление холина с пищей у взрослых людей коррелирует с показателями когнитивного функционирования, и что лечение препаратами холина способствует уменьшению когнитивных нарушений

при, например, сосудистой деменции, и этот эффект коррелирует с активацией холинергической системы [56, 58].

Нарушения в работе центральных холинергических систем в этиопатогенезе синдрома хронической усталости и фибромиалгии

«Синдром хронической усталости» (СХУ), или, как его сейчас принято называть по новой номенклатуре, «миалгический энцефаломиелит» (МАЭ) – это сложное, комплексное заболевание, этиология и патогенез которого до настоящего времени окончательно не выяснены. Часто СХУ впервые манифестирует после перенесённых вирусных или, реже, бактериальных инфекций (особенно – инфекций нейротропными вирусами или нейротропными бактериями, в том числе банальными, такими, как грипп или инфекция стрептококками группы А) или, реже, после перенесённых тяжёлых паразитарных инвазий (опять-таки, предпочтительно нейротропными агентами, такими, как крысиный лёгочный червь, ангиостронгилёз, который может вызывать эозинофильный менингоэнцефалит) [28, 49].

Причинно-следственная связь между перенесённой инфекцией или паразитарной инвазией и развитием СХУ была не вполне понятна до недавнего времени, хотя и учёным, и практикующим врачам давно было очевидно, что столь частая манифестация СХУ именно после инфекций или паразитарных инвазий не может являться простым совпадением во времени, и что в этой корреляции обязательно должна крыться каузация [28, 49].

Сегодня уже известно, что СХУ не является в чистом виде нервно-психическим заболеванием, как это предполагалось ранее, и что в его этиопатогенезе играют большую роль иммунопатологические нарушения [28, 49].

Собственно говоря, именно это и обусловило как переименование СХУ в современное и более научно корректное название МАЭ, так и его переклассификацию из категории психических или неврологических расстройств в категорию ревматологических, аутоиммунных заболеваний [28, 49].

Показано, что среди прочих иммунопатологических нарушений, которые имеют место быть при СХУ/МАЭ, у пациентов, страдающих этой болезнью, в крови и в спинномозговой жидкости (ликворе) обнаруживаются повышенные титры аутоантител к М-холинергическим рецепторам (особенно к подтипам M_3 и M_4) и к β -адренорецепторам (особенно к подтипу β_2) [16, 34, 41].

Эти аутоантитела могут быть как блокирующими (занимая рецептор, они сами не производят никаких физиологических эффектов, но препятствуют воздействию естественного нейромедиатора – АХ или норадреналина,

соответственно – на рецептор), так и стимулирующими (занимая рецептор, они переводят его в возбуждённую конфигурацию, то есть действуют подобно естественному нейромедиатору, но гораздо дольше по времени) [34].

Кроме очевидных последствий блокады или гиперстимуляции β -адренергических и М-холинергических рецепторов в виде нарушения нормальных процессов нейротрансмиссии и возникновения дисбаланса между нейромедиаторными системами мозга, при СХУ/МАЭ имеет место быть также медленная, постепенная, но носящая необратимый характер аутоиммунная деструкция центральных холинергических и норадренергических нейронов (в базальных ганглиях переднего мозга и в голубоватом пятне, соответственно), выявляемая на аутопсии у пациентов, при жизни страдавших СХУ/МАЭ [16, 34].

В этом смысле ситуация у пациентов, страдающих СХУ/МАЭ, в чём-то сходна с той ситуацией, в которой оказываются пациенты, страдающие миастенией. Разница только в том, что у пациентов с миастенией – объектами блокады аутоантителами, и в конечном итоге – объектами необратимой аутоиммунной деструкции являются в первую очередь Н-холинорецепторы нервно-мышечной пластинки, и только во вторую очередь – Н-холинорецепторы вегетативной нервной системы и периферических ганглиев, а у пациентов с СХУ/МАЭ – наоборот, поражаются в первую очередь М-холинорецепторы и β -адренорецепторы именно центральных холинергических и норадренергических нейронов, в меньшей мере – М-холинорецепторы и β -адренорецепторы нейронов периферической нервной системы [22].

Интересно отметить также, что миастения с повышенной частотой оказывается коморбидна со СХУ/МАЭ. Это, видимо, не случайно, так как оба эти заболевания имеют во многом сходный иммунопатогенез, различны лишь клеточные мишени аутоантител при них [22].

Показано, что предрасположенность к развитию СХУ/МАЭ после перенесённых вирусных инфекций тесно коррелирует с наличием определённых однонуклеотидных генетических полиморфизмов в генах М-холинорецепторов, β -адренергических рецепторов или ваниллоидных (TRP) рецепторов. По всей вероятности, эти генетические полиморфизмы приводят к такому изменению конфигурации рецепторных белков, которое облегчает выработку аутоантител к ним и запуск аутоиммунной реакции, что и приводит к развитию СХУ/МАЭ [37, 43].

Также обнаружено, что у пациентов, страдающих СХУ/МАЭ, при ПЭТ снижено связывание с М-холинорецепторами мозга радиоактивной метки (меченого радиоактивным изотопом углерода [^{11}C] (+)-N-метил-3-пиперидил-бензилата, сокращённо (+) 3-МПБ) [80].

На основании этих данных, ряд авторов предприняли попытки лечения пациентов со СХУ/МАЭ холинергическими препаратами – пиридостигмина бромидом, галантамина гидробромидом, холина битартратом, а также некоторыми растительными экстрактами с холинергическими свойствами (гиперицин из зверобоя обладает свойствами одновременно ингибитора моноаминоксидазы типа А и ИАХЭ) [10, 38, 70].

В пилотных небольших двойных слепых плацебо-контролируемых рандомизированных клинических испытаниях (РКИ) каждый из этих препаратов показал хотя и небольшие, но вполне статистически достоверные улучшения симптоматики СХУ/МАЭ, по сравнению с плацебо. Это представляется большим шагом вперёд, с учётом того, сколь мало у нас имеется на сегодня надёжных и доказанно эффективных опций лечения СХУ/МАЭ [10, 38, 70].

Кроме того, было показано также, что холинергическая стимуляция при помощи назначения ИАХЭ (галантамина гидробромид) или прекурсора АХ (холина битартрата) приводит к нормализации нейроэндокринного профиля пациентов со СХУ/МАЭ, в частности, к повышению концентрации дегидроэпиандростерона (ДГЭА), дегидроэпиандростерона сульфата (ДГЭА-С) и кортизола в плазме крови и в слюне этих пациентов, к повышению надпочечникового резерва, и что эти положительные нейроэндокринные изменения параллельны уменьшению симптомов хронической усталости, уменьшению утомляемости и повышению работоспособности пациентов со СХУ/МАЭ [73].

Аналогичные данные, как в отношении роли нарушений в центральной и периферической холинергической системе в этиопатогенезе, так и в отношении эффективности холинергических препаратов, были получены и для другого этиопатогенетически и клинически весьма сходного и тоже довольно загадочного ревматологического заболевания, тоже часто манифестирующего после инфекций или паразитарных инвазий, особенно после инфекций нейротропными вирусами или инвазий нейротропными паразитами – фибромиалгии (ФМА) [27].

Между тем, многие психические и неврологические проявления так называемого «постковидного синдрома» – например, постковидная астения, или длительно сохраняющиеся «летучие боли» в мышцах, суставах – поразительно напоминают симптоматику СХУ/МАЭ или же симптоматику ФМА [36, 75].

Это даёт основания предполагать, что для лечения постковидного синдрома – или, по крайней мере, для лечения тех его проявлений, кото-

рые клинически сходны с проявлениями СХУ/МАЭ или с проявлениями ФМА – могут оказаться эффективными те же методы, которые были разработаны и оказались эффективными в лечении СХУ/МАЭ или в лечении ФМА – и среди них применение ИАХЭ либо прекурсоров АХ, применение АД, применение препаратов, нормализующих сон и др. [36, 75].

Некоторые авторы даже идут ещё дальше и делают довольно радикальное утверждение о том, что, дескать, «постковидный синдром» вообще не существует как отдельная и новая клиническая сущность, и что он по сути представляет собой всего лишь давно известную манифестацию СХУ/МАЭ или ФМА, но не после перенесённого гриппа или аденовируса, а после перенесённого COVID-19 – а значит, и лечиться «постковидный синдром» должен по тем же принципам, что и СХУ/МАЭ или ФМА [36].

Роль гипоксии в этиопатогенезе синдрома хронической усталости и астенических состояний, в том числе постковидной астении

Описанная нами в предыдущем разделе гипотеза этиопатогенеза СХУ/МАЭ, которая постулирует, что причиной нейрональной дисфункции (в том числе и дисфункции именно холинергических систем ЦНС) при этом заболевании являются иммунологические нарушения, хроническое нейровоспаление и системное воспаление либо аутоиммунная, антитело-опосредованная деструкция нейронов – вовсе не является единственной гипотезой о природе этого заболевания [35, 60].

В частности, существует также гипотеза о том, что в этиопатогенезе нейрональной дисфункции при СХУ/МАЭ играет роль умеренная гипоксия ЦНС (менее выраженная, чем та, которая наблюдается при атеросклерозе сосудов головного мозга, хронической ишемии мозга (ХИМ), последствиях ишемического инсульта и т.п.), а также специфические нарушения энергетического обмена и метаболизма, соответствующие тем, которые наблюдаются при тканевой гипоксии (снижение тканевых запасов АТФ и гликогена, накопление недоокисленных промежуточных продуктов обмена, нарушения в метаболизме жирных кислот и аминокислот в качестве источников энергии и др.) [35, 60].

Причины и механизмы развития умеренной гипоксии и нарушений энергообмена в ЦНС у пациентов, страдающих СХУ/МАЭ окончательно не выяснены. Однако существуют предположения, что это может быть связано с вегетативной дисрегуляцией при СХУ, и в частности – с дисрегуляцией сосудистого тонуса в ЦНС, с локальной недостаточностью

сосудорасширяющих влияний (в том числе – влияний как раз со стороны холинергической системы) и с локальным избытком сосудосуживающих влияний (со стороны адренергической системы, вазопрессина, системы ренин-ангиотензин-альдостерон и др.) [38].

Согласно другому предположению, в основе этиопатогенеза наблюдаемой при СХУ/МАЭ умеренной гипоксии ЦНС и связанных с ней нарушений энергетического обмена в ЦНС может лежать нарушение толерантности к ортостатической нагрузке, которое приводит к ухудшению кровоснабжения головного мозга в стоячем или сидячем положении, по сравнению с лежачим [52].

Это нарушение ортостатической толерантности, в свою очередь, связывают с нарушениями вегетативной регуляции сосудистого тонуса в ЦНС, с нейромедиаторными нарушениями, в том числе – опять-таки, с нарушениями в работе центральных холинергических систем [52].

Давно и хорошо известно также и то, что симптомы патологической умственной и физической утомляемости, весьма сходные с теми симптомами, которые наблюдаются при «истинном», или «идиопатическом» СХУ/МАЭ, часто наблюдаются при таких сопровождающихся гипоксией ЦНС соматических заболеваниях и патологических состояниях, как серповидно-клеточная анемия, высокогорная болезнь (загрудненная адаптация к условиям высокогорья), различные хронические заболевания лёгких, способные привести к нарушениям лёгочного газообмена (например, хроническая обструктивная болезнь лёгких, хроническая пневмония, бронхоэктатическая болезнь и др.) [7, 33, 45].

В свете этого не должно вызывать удивления то, что, как предполагают некоторые авторы, нарушение газообмена в лёгких, вызываемое их частичным фиброзированием после перенесённой вирусной пневмонии SARS-CoV-2, и тоже приводящее к развитию гипоксии ЦНС – может, по аналогии с вышеприведёнными примерами, также играть роль в этиопатогенезе постковидной астении, длительной патологически повышенной утомляемости после перенесённого COVID-19, напоминающей «идиопатической» СХУ/МАЭ [69].

Митохондриальная дисфункция, связанная с персистирующим хроническим воспалением и иммунопатологическими нарушениями после перенесённого COVID-19, может дополнительно усугублять тканевую гипоксию, и в том числе – гипоксию ЦНС, вызываемую нарушениями газообмена в лёгких на почве их фиброза после перенесённой SARS-CoV-2 вирусной пневмонии [69].

Поскольку же известно, что холина альфосцерат высокоэффективен в устранении или уменьшении когнитивных нарушений и симптомов астении, связанных с гипоксией мозга на почве, например, ХИМ или последствий перенесённого ишемического инсульта, и поскольку предполагается, что в этиопатогенезе СХУ/МАЭ и в этиопатогенезе постковидного синдрома тоже играет роль гипоксия ЦНС и нарушения энергообмена в ЦНС – то, по аналогии, можно предполагать, что холина альфосцерат окажется эффективным и в устранении когнитивных нарушений и симптомов астении на фоне СХУ/МАЭ или на фоне постковидного синдрома.

Холин, надпочечники, гонады и биосинтез стероидов

Как известно, одним из важных признаков дефицита холина у экспериментальных животных – является снижение так называемого «надпочечникового резерва» – способности надпочечников быстро увеличить биосинтез глюкокортикостероидов (ГКС) в условиях стресса и повышенной потребности тканей организма в ГКС. Наблюдается также снижение биосинтеза половых стероидов в гонадах, снижение половой активности животных, бесплодие у обоих полов, у самок – плацентарная недостаточность и невынашивание беременности [62].

Сходные, хотя обычно менее выраженные, явления наблюдаются и у людей с алиментарно обусловленным дефицитом холина [62].

Причины этого явления (негативного влияния дефицита холина на стероидогенез в надпочечниках, в гонадах и в плаценте) и механизм его развития долгое время оставались непонятными. В самом деле, ведь холин не является ни исходным сырьём для биосинтеза стероидов (им является холестерол), ни кофактором, необходимым для работы какого-либо из ферментов в цепи стероидогенеза (таковым кофактором является, например, аскорбиновая кислота) [62].

И лишь сравнительно недавно было показано, что ФХ, образуя с холестеролом цитоплазмы микрокапли или мицеллы сложного строения, и обеспечивая таким образом эмульгирование нерастворимого в воде, но хорошо растворимого в липидах холестерола и его производных (стероидов) – облегчает доступ цитоплазматических ферментов стероидогенеза к молекулам холестерола и последующих его метаболитов, заключённых в этих микрокаплях или мицеллах, и что в отсутствие в цитоплазме достаточного количества ФХ процессы стероидогенеза в надпочечниках, гонадах, плаценте – происходят гораздо медленнее [62].

При глубоком дефиците ФХ – стероидогенез в клетках надпочечников и гонад вообще останавливается. Затем может наступить гибель самой

стероидогенной клетки из-за нарушения состава фосфолипидов клеточных мембран и патологического повышения проницаемости мембран [62].

И наоборот – увеличение потребления холина и его производных, в том числе фосфатидилхолина, с пищей – способствует улучшению или восстановлению стероидогенеза в надпочечниках и в гонадах, увеличению надпочечникового резерва (и, как следствие – способствует повышению стрессоустойчивости организма) [62].

Между тем, хорошо известно, что снижение надпочечникового резерва, относительный гипокортицизм (который проявляется только во время стресса) и относительный гипогонадизм, нарушения биосинтеза надпочечниковых и половых стероидов – играют существенную роль в этиопатогенезе различных астенических состояний, в том числе – в этиопатогенезе постковидной астении (длительно сохраняющейся астении после перенесённого острого заболевания COVID-19) [39, 47, 57].

Известно также, что депрессивные и тревожные расстройства систематически сопровождаются признаками гиперактивности «стрессовой» оси «лимбика – гипоталамус – гипофиз – надпочечники» (оси ЛГГН), нарушением работы петли отрицательной обратной связи (ООС) из-за дисфункции глюкокортикоидных GR рецепторов и нарушения внутриклеточной передачи стероидного сигнала, относительной или абсолютной гиперкортизолемией, нарушениями суточного биоритма секреции надпочечниковых стероидов (отсутствием вечернего падения секреции стрессового гормона кортизола и вечернего увеличения секреции снотворных и антистрессовых гормонов прогестерона и прегненолона, являющихся прямыми предшественниками кортизола в биосинтезе, но также и предшественниками одного из самых важных нейростероидов – аллопрегненолона) [1, 2, 3, 5].

При этом эффективное применение антидепрессантов (АД) у этих больных способствует нормализации работы оси ЛГГН и петли ООС в ней, уменьшению гиперкортизолемии, нормализации суточных паттернов секреции надпочечниковых стероидов и нейростероидов [1, 2, 3, 5].

Однако известно также и то, что длительно существующие, хронические (многочесячные или даже многолетние) депрессии часто сопровождаются, напротив, относительным истощением надпочечникового резерва (развитием своеобразного «синдрома истощения коры надпочечников» после их длительной гиперстимуляции) и относительным гипокортицизмом [1, 2, 3, 5].

Показано, что появление лабораторных признаков относительного гипокортицизма коррелирует с развитием терапевтической резистентности

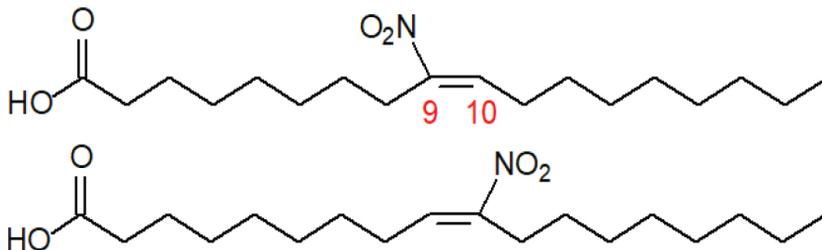
депрессий, с хронификацией депрессии, а также с появлением или усилением выраженности астенической и вяло-апатической симптоматики в общей клинической картине депрессии [1, 2, 3, 5].

Подобным пациентам с хроническими депрессивными состояниями, особенно с преобладанием астенической или вяло-апатической симптоматики, может принести пользу терапия, направленная на восстановление надпочечниковых резервов и на улучшение либо стимуляцию стероидогенеза в надпочечниках – в частности, **применение препаратов холина** (которые и являются основной темой настоящей статьи), а также кофакторов биосинтеза стероидов (аскорбиновая кислота, пантотеновая кислота), прекурсоров биосинтеза ГКС (прегненолон, прогестерон), стимуляция биосинтеза ГКС за счёт возбуждения петли ООС с помощью блокатора GR рецепторов мифепристона, применение некоторых растительных адаптогенов, а также выбор некоторых специфических АД, которые при определённых условиях могут не угнетать, а, напротив, стимулировать стероидогенез в надпочечниках (литий, кломипрамин и др.), или которые способны угнетать катаболизм стероидов в печени (флувоксамин), а иногда – даже заместительная терапия небольшими дозами ГКС [1, 2, 3, 5].

Холин, нитролипиды и воспаление

Уже давно было известно, что и в мембранах, и в цитоплазме клеток человека и животных встречаются так называемые нитролипиды – нитро-аналоги фосфолипидов, в частности, нитро-холины и нитрозил-холины (нитрованные или нитрозилированные аналоги фосфатидилхолина, в которых вместо остатков фосфата включены остатки нитрата (NO_3) или нитрозила (NO)), а также нитрозилированные жирные кислоты (например, 9- и 10-нитро-октадекееновая кислоты, см. рисунок № 4) и нитроэфир глицерола (в основном глицерол-мононитрат, но встречаются также глицерол-динитрат и глицерол-тринитрат, более известный под названием «нитроглицерин», см. рисунок № 5) [21, 26, 53, 76].

В течение долгого времени было принято считать, что образование в нашем организме нитролипидов (в частности, нитрохолина и нитрозилхолина, нитрозилированных аналогов жирных кислот, нитроэфиров глицерола) – является всего лишь неприятным артефактом, который связан с нежелательным взаимодействием свободных радикалов (активных форм азота, таких, как нитрозил-радикал, нитро-радикал или пероксинитрит) с жирными кислотами, свободным холином или фосфатидилхолином, или глицерином, соответственно [21, 26, 53, 76].



9- and 10-nitro-9-*cis*-octadecenoic acids

Рис. 4. Молекулы двух самых распространённых в нашем организме нитрозилированных жирных кислот – 9- и 10-нитро-9-*cis*-октадекеновых кислот

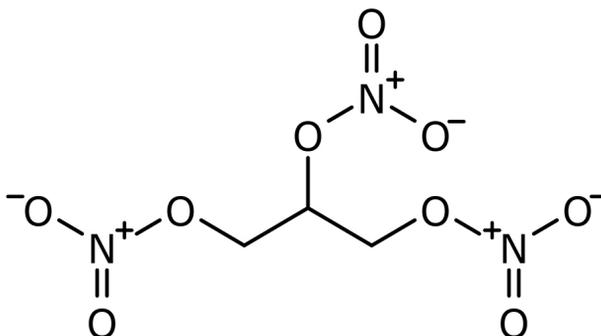


Рис. 5. Молекула нитроглицерина (глицерол-тринитрата), который является не только широко известным коронарорасширяющим лекарством и взрывчатым веществом, но и одним из эндогенно образующихся в небольших количествах нитроэфиров глицерола

Упрощённая общая схема образования нитрированных или нитрозилированных аналогов жирных кислот и фосфолипидов под влиянием свободных радикалов изображена на рисунке № 6.

Однако в последнее время было показано, что это – совершенно не так, и что нитролипиды играют в организмах человека и животных самостоятельную и очень важную биологическую роль. Они выступают в качестве целостных самостоятельных (то есть работающих независимо от возможного высвобождения оксида азота (II), или NO) сигнальных молекул, которые оказывают противовоспалительное, иммуномодулирующее, антитромботическое, сосудорасширяющее и цитопротективное действие [21, 26, 53, 76].

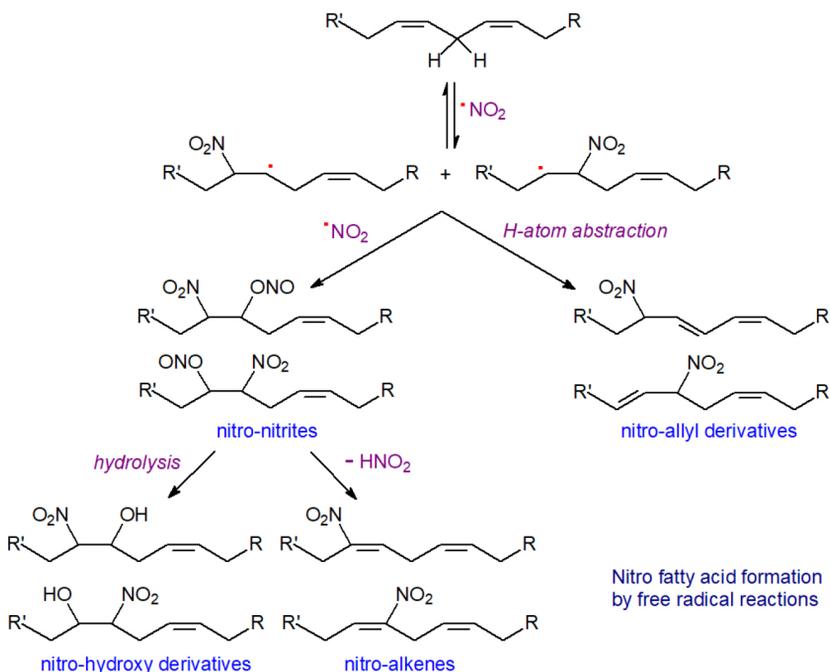


Рис. 6. Общая схема образования нитрованных (NO₃) или нитрозилированных (NO) аналогов жирных кислот и фосфолипидов в нашем организме

Одним из основных механизмов сигнального взаимодействия нитролипидов с другими биомолекулами, присутствующими в наших клетках, является так называемая «реакция Михаэля» (*Michael reaction*), или «сопряжённое присоединение по Михаэлю» (*Michael addition*) – спонтанная, неферментативная реакция между электрофильной молекулой нитролипидов, и нуклеофильными тиоловыми (SH) группами белков, в частности, ферментов. Этот процесс схематично изображён ниже на рисунке № 7 [26, 52].

Между тем, хорошо известно, что системное воспаление и нейровоспаление, а также эндотелиальная дисфункция, обуславливающая повышенную склонность к тромбозам – играют важную роль как в этиопатогенезе депрессивных и тревожных состояний, так и в этиопатогенезе постковидного синдрома [11, 31, 46].

Особенно важную роль нейровоспаление и системное воспаление играют в этиопатогенезе именно нейропсихиатрических последствий

постковидного синдрома, таких, как постковидная астения, постковидные депрессивные и тревожные состояния [31].

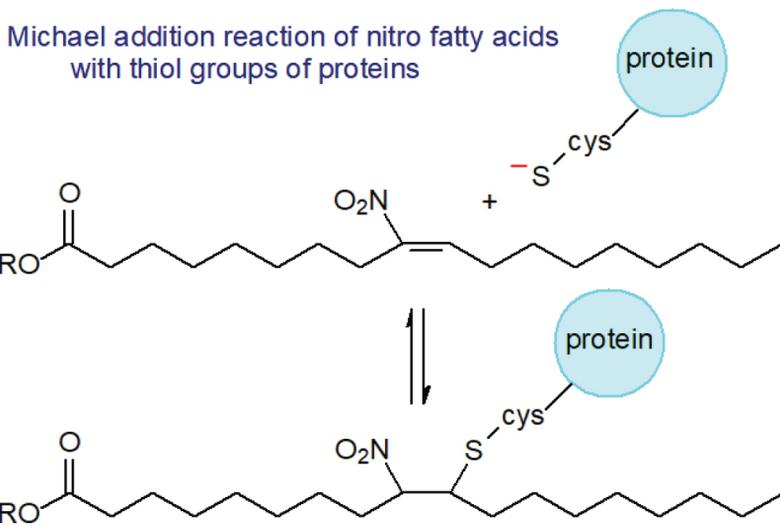


Рис. 7. Реакция Михаэля между молекулой нитролипида и тиоловой группой в молекуле белка

В свете этого применение препаратов холина или ФХ, которые могут служить, с одной стороны, сквенджерами свободных радикалов (активных форм кислорода и азота), а с другой – источниками для образования нитролипидов, оказывающих противовоспалительное, иммуномодулирующее и цитопротективное (в частности, нейро-, кардио- и ангио-, точнее эндотелиопротективное) действие – может оказаться эффективным как в лечении депрессий и тревожных состояний вообще, так и в уменьшении нейропсихиатрических проявлений постковидного синдрома, включая постковидную астению, постковидные депрессивные и тревожные состояния [48].

Холин, арсеналипиды, арсенобетанин и обмен мышьяка в организме

Известно, что мембраны и цитоплазма клеток человека и животных содержат, наряду с фосфолипидами, также небольшое количество так называемых арсеналипидов – веществ, химически весьма сходных с фос-

фолипидами, но в составе которых остатки фосфата (PO_4^{3-}) замещены остатками арсената (AsO_4^{3-}), в том числе – арсендилхолинов (мышьяковистых аналогов фосфатидилхолинов) [20].

Первоначально предполагалось, что, как и в случае с нитролипидами, существование в нашем организме арсенолипидов наряду с фосфолипидами – это некий нежелательный артефакт, связанный с тем, что специфичность ферментов, участвующих в биосинтезе фосфолипидов – далеко не стопроцентная, а пниктогены мышьяк и фосфор очень похожи по многим своим химическим свойствам, и соответственно очень похожи по свойствам арсенат и фосфат (больше, чем похожи азот и фосфор, нитрат и фосфат – ибо азот, будучи элементом 1-го периода – «атипичный» пниктоген, не похожий по ряду свойств на все остальные пниктогены) [20].

Другая же теория происхождения арсенолипидов в наших клетках постулировала, что арсенолипиды являются всего лишь конечными продуктами обезвреживания и связывания неорганических соединений мышьяка, которые организмы животных и человека получают с водой, воздухом и пищей (прежде всего – при употреблении рыбы, морепродуктов, водорослей, а также растений, выросших на богатой мышьяком почве) [20].

Однако накапливается всё больше данных о том, что арсенолипиды, несмотря на то, что они присутствуют в организмах человека и животных в очень малых количествах, могут играть в наших организмах некую самостоятельную биологическую роль. В частности, показано, что арсенолипиды являются функциональными ингибиторами глицеролкиназы. Тем самым арсенолипиды могут играть роль в регуляции процессов гликолиза и чувствительности тканей к инсулину [20].

Также уже давно было показано, что мышьяк, который в течение длительного времени было принято считать всего лишь загрязнителем окружающей среды, канцерогенным и токсичным химическим элементом из ряда «тяжёлых металлов» – на самом деле в очень малых, микрограммовых количествах – является необходимым для жизни и для нормального функционирования организмов человека и животных микроэлементом, или даже скорее ультра-микроэлементом (*ultra-trace element*) [54, 55, 74].

В контексте нашей статьи, посвящённой роли препаратов холина в лечении астенических состояний – интересно то, что у лабораторных животных искусственно вызываемый дефицит мышьяка (содержание их на специальной синтетической диете, полностью лишённой какого-либо содержания мышьяка) – проявляется, среди прочего, именно симптомами со стороны ЦНС, такими, как повышенная нервозность, нарушения сна,

быстрая утомляемость животных при физической нагрузке (беге в колесе) или выполнении интеллектуальных задач (нахождении пути в лабиринте) [54, 55, 74].

Показано, что выраженность этих явлений у экспериментальных животных больше коррелирует со снижением содержания арсенолипидов в мембранах эритроцитов, чем со снижением содержания общего и неорганического мышьяка в плазме [54, 55, 74].

Возможно, что дефицит мышьяка у пациентов, находящихся на хроническом гемодиализе (он развивается по той причине, что мышьяк не добавляется в диализные растворы и не входит в состав обычно принимаемых микроэлементных комбинированных препаратов) – может, наряду с дефицитами таких микроэлементов, как бром, литий и рубидий, частично обуславливать такие симптомы пост-диализного синдрома, как пост-диализная астения, пост-диализная бессонница, пост-диализная депрессия или тревога [54, 55, 74].

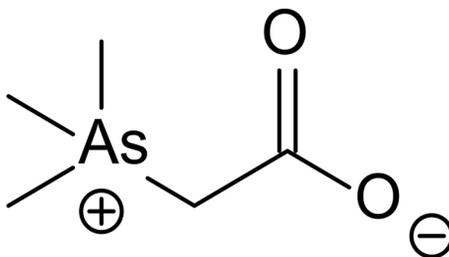


Рис. 8. Молекула арсенобетаина, конечного продукта обезвреживания избытка мышьяка в организме

Не менее интересно отметить и то, что при более детальном изучении метаболизма мышьяка в организме обнаружилось, что конечным продуктом обезвреживания избытка мышьяка, выводимым с мочой, является практически нетоксичный и хорошо растворимый в воде арсенобетаин (изображённый на рисунке № 8), а вовсе не арсенолипиды, как ранее предполагалось [20].

Как и для образования арсенолипидов, для образования арсенобетаина, наряду с неорганическим мышьяком (в виде арсената или арсенита), необходимо также поступление в организм холина, который является прекурсором и для фосфо- и арсенолипидов, и для бетаина. Таким образом, холин, с одной стороны, служит для усвоения неорганического мышьяка и образования из него необходимых нашему организму арсенолипидов, а с другой – защищает организм от избытка мышьяка и проявлений его ток-

сичности при помощи образования арсенобетаина [20].

Интересно отметить также, что положительное влияние дополнительного введения в организм небольших количеств неорганического мышьяка на состояние и функционирование ЦНС (и, в частности, как раз на проявления астении), а также на кроветворную функцию костного мозга (особенно на его красный, эритроцитарный росток) – было известно человечеству ещё со Средних веков, наряду со сведениями о токсичности больших доз препаратов мышьяка [4].

До того, как стало известно о потенциальной канцерогенности препаратов мышьяка, неорганический мышьяк достаточно широко употреблялся в медицине именно в качестве антиастенического («общеукрепляющего»), слабого анаболического и стимулирующего кроветворение средства. В частности, справочник «Лекарственные средства» М. Д. Машковского 1974 года издания упоминает натрия арсенат, калия арсенит («раствор Фаулера») и препарат «Дуплекс» (комплексное соединение стрихнина и натрия арсената в одной ампуле) в качестве средств лечения астении и малокровия [4].

Предполагается, что антиастеническое, анаболическое и стимулирующее кроветворение действие малых доз неорганического мышьяка реализуется именно через образование из него в организме необходимых арсенولیпидов (мышьяковистых аналогов фосфолипидов) [20].

Таким образом, можно констатировать, что холин необходим нашему организму, среди прочего, и для нормального усвоения микроэлементных количеств мышьяка и включения его в состав арсенولیпидов, и для обезвреживания его избытка и выведения его с мочой в виде арсенобетаина.

В контексте именно постковидной астении представляет интерес то, что в транспорте внутрь клеток ЦНС некоторых разновидностей неорганического и органического мышьяка, как в нейтральной, так и в ионизированной форме (в частности, триоксида мышьяка As_2O_3 , моно- и диметилмышьяковистой кислоты) принимает участие аквапорин-9 (AQP-9) [17, 30].

Между тем, функция белков семейства аквапоринов, и не только в отношении транспорта воды, глицерина и других осмолитов и в регуляции водно-электролитного обмена и осмотического давления в клетках, но и в отношении трансмембранного транспорта мышьяка, бора, селена и ряда других микроэлементов – значительно нарушается при инфицировании вирусом SARS-CoV-2. Внутриклеточный дефицит этих микроэлементов, наряду с нарушением осморегуляции и интерстициальным отёком, может играть роль в патогенезе как острой фазы заболевания COVID-19, так и постковидного синдрома [42].

**Доказательная база по эффективности
и безопасности применения препаратов холина
в лечении астенических состояний различного генеза**

Холина альфосцерат (он же – L-глицерилфосфорилхолин) – это полусинтетический аналог эндогенно образующегося соединения холина, прекурсор в биосинтезе ацетилхолина и холин-содержащих фосфолипидов [6, 32, 63, 65].

Доклинические исследования показали, что холина альфосцерат, благодаря своей высокой липофильности, легко проникает в ЦНС, облегчает процессы обучения, запоминания и воспроизведения у экспериментальных животных, повышает содержание ацетилхолина в гиппокампе крыс и усиливает холинергическую нейротрансмиссию [32, 63, 65].

Кроме того, холина альфосцерат также повышает содержание в мозгу экспериментальных животных мембранных фосфолипидов и глицерофосфохолинов, что оказывает положительное влияние на пластичность и текучесть мембран нервных клеток и на их устойчивость к вредным воздействиям [6].

Эти доклинические данные послужили основанием для начала клинического изучения препаратов холина и в особенности – холина альфосцерата – в качестве средств лечения когнитивных нарушений различного генеза, астенических и депрессивных состояний.

В 2001-м году исследователи из Северо-Западного Университета в Чикаго провели исследование группы пациентов с алиментарно обусловленным дефицитом холина (подтверждённым как наличием клинических признаков дефицита холина, так и лабораторно, с помощью биохимического анализа крови). Они дали этим людям серию тестов на память и когнитивные функции, и закономерно обнаружили, что результаты тестов у этих пациентов до начала лечения – значительно ниже среднепопуляционных [15].

Затем все эти пациенты были рандомизированы на две группы. Одна получала, дополнительно к своему обычному рациону питания, 2 грамма холина хлорида, а другая – плацебо, на протяжении 24 недель. Через 24 недели тесты памяти и когнитивных функций повторили. При этом было показано, что та группа пациентов, которая получала холина хлорид – продемонстрировала резкое улучшение показателей памяти, когнитивного функционирования и выносливости к интеллектуальным нагрузкам. В то же время группа плацебо – показала, как и ожидалось, плохие результаты, сопоставимые с результатами их собственных тестов до начала лечения [15].

В 2013-м году был опубликован систематический обзор и мета-анализ, который констатировал, что холина альфосцерат во всех доступных

авторам исследования либо статистически достоверно улучшал, либо, как минимум, проявлял численный тренд (тенденцию) улучшать память, концентрацию внимания, скорость реакции, переносимость интеллектуальных и физических нагрузок. Авторы этого обзора констатировали, что холина альфосцерат оказывает значительное положительное влияние на память и когнитивные функции, умственную и физическую выносливость, и имеет хороший профиль безопасности и переносимости [72].

В ещё одном исследовании, проведённом в 2015-м году, приняли участие 28 здоровых добровольцев. Они были рандомизированы к получению либо 2 граммов холина битартрата, либо плацебо, в двойном слепом кросс-режиме (то есть, в одном случае одна группа получала холина битартрат, а другая – плацебо, а при повторном эксперименте – наоборот). Через 1 час 10 минут после приёма холина битартрата либо плацебо, всем участникам исследования было предложено принять участие в соревновании по спортивной стрельбе [50].

При этом обнаружилось, что те участники исследования, которые получили холина битартрат, не только гораздо точнее попадали в центр мишени, но и делали это гораздо быстрее (то есть – тратили гораздо меньше времени на прицеливание), и гораздо меньше уставали при повторных стрельбах в разные мишени. Эта разница сохранялась и при кросс-подходе (то есть тогда, когда в рамках повторного эксперимента тому же участнику, который в первом эксперименте получил плацебо, давали холина битартрат и наоборот). То есть – эта разница не могла быть объяснена индивидуальными особенностями участников (случайным попаданием более опытных в стрельбе или более тренированных участников в группу холина битартрата) [50].

Измерив диаметр зрачков у участников исследования, получивших холина битартрат или плацебо, до и после приёма, авторы пришли к выводу, что приём холина битартрата оказывает быстрое непосредственное влияние на параметры холинергической нейротрансмиссии в ЦНС. Они также заключили, что в их эксперименте наблюдалась индуцированная приёмом холина битартрата тенденция к повышению точности, скорости и аккуратности стрельбы и выносливости к длительным нагрузкам [50].

Изучали препараты холина в лечении когнитивных нарушений и астенических состояний также и российские исследователи. Так, в 2018-м году были опубликованы данные одного российского исследования, в котором приняли участие 50 пациентов с возрастными когнитивными нарушениями. Среди участников исследования было 40 женщин и 10 мужчин. Сред-

ний возраст участников составлял 68,8 лет. Все они получали лечение холина альфосцератом в дозе 1200 мг/сут на протяжении 3 месяцев, что привело к значительному улучшению их когнитивного функционирования и выносливости к физическим и интеллектуальным нагрузкам [29].

В свете преобладания женщин в данной выборке интересно отметить, что транспорт холина в кишечнике является эстроген-зависимой функцией, и что у постменопаузальных женщин дефицит холина встречается чаще, чем у мужчин или у молодых (до-менопаузальных) женщин [68].

Из 50 пациентов, получавших лечение холина альфосцератом на протяжении 3-х месяцев, 15 человек согласились продолжить тот же курс лечения в течение 1 года. Авторы исследования сумели показать, что, несмотря на некоторое снижение показателей когнитивного функционирования, памяти и выносливости пациентов к сроку 7-9 месяцев, вследствие закономерного прогрессирования болезни, их когнитивное функционирование, память и выносливость к физическим и интеллектуальным нагрузкам всё равно оставались на более высоком уровне, чем до начала лечения холина альфосцератом [29].

Таким образом, длительный приём холина альфосцерата оказался способен предотвращать или существенно тормозить дальнейшее прогрессирование возрастных когнитивных нарушений и нарастание явлений астенизации на протяжении всего периода наблюдения (12 месяцев) [29].

Представление клинического случая эффективности препаратов холина в составе комплексной терапии лёгкой формы постковидного астено-депрессивного синдрома

Клинический случай. Постковидный астено-депрессивный синдром.

Мужчина Ю. М., 2003 года рождения (19 лет на момент обращения за консультацией к одному из соавторов настоящей статьи). Студент, учится на инженерной специальности. Холост, живёт с родителями. В декабре 2021 года перенёс амбулаторно COVID-19 в лёгкой форме. На протяжении всего периода болезни (около 1,5 месяцев с момента первого положительного теста на COVID-19 до момента, когда результаты теста стали стойко отрицательными) данный пациент оставался на режиме домашней изоляции.

До перенесённого COVID-19 данный пациент психическими расстройствами не страдал, к врачам по этому поводу не обращался. Психические заболевания у родственников также отрицает.

Хотя течение острой фазы COVID-19 у этого пациента было достаточно лёгким, после выздоровления от острой фазы болезни данный пациент

стал предъявлять жалобы на выраженную тахикардию при сравнительно небольших физических нагрузках, быструю утомляемость, физическую слабость, вялость, апатию, трудности с концентрацией внимания, ухудшение академической успеваемости, а также на не свойственную пациенту ранее забывчивость и рассеянность (уровня «забыл и оставил в аудитории шапку или сумку; забыл о необходимости составить отчёт по выполненной лабораторной работе к определённой дате»), повышенную тревожность, поверхностный, не приносящий отдыха сон, сниженный фон настроения.

В феврале 2022 года пациент обратился с этими жалобами к одному из соавторов данной статьи. Показатель шкалы депрессии Бека на момент обращения за консультацией составлял 13 баллов (лёгкая депрессия), показатель шкалы тревоги Шихана – 34 балла (умеренно выраженная тревожность).

Уже в самом начале разговора, ещё до изложения собственно своих жалоб и беспокоящих его симптомов, пациент попросил «по возможности не назначать ему антидепрессанты (АД) или вообще психотропные средства». Он мотивировал это тем, что он живёт с родителями, финансово зависит от них и находится под их контролем. По его мнению, «родители этого не поймут и не одобряют, скажут „ты что, псих?“, и не дадут мне возможности лечиться АД или ещё какими-нибудь психотропными средствами».

В то же время пациент в разговоре высказал убеждение в том, что его родители «скорее всего не будут иметь ничего против каких-нибудь биологически активных добавок (БАДов), витаминов, растительных препаратов, или против лекарств от COVID, если только это не какие-нибудь очень серьёзные и токсичные лекарства».

При этом, как выяснилось после уточняющего вопроса, под «лекарствами от COVID» пациент подразумевал лекарства, о возможных иммуномодулирующих, противовоспалительных или противовирусных свойствах которых в контексте COVID-19 он что-то где-то когда-то слышал или читал в материалах прессы для широкой публики (наподобие гидроксихлорохина, или комбинации ритонавир/лопинавир, целесообразность применения которых в контексте лечения COVID-19 либо уже опровергнута, либо, как минимум, сомнительна).

Пациент также высказал утверждение, что «денежная сторона вопроса не является проблемой» для его родителей, и что даже если лечение, состоящее целиком только из природных компонентов, обойдётся его родителям дороже, чем применение АД – оно всё равно более предпочтительно для них, а следовательно, и для него.

Поскольку тревожно-депрессивное состояние у данного пациента было достаточно лёгким и по данным шкалы Бека, и по общему клиническому впечатлению от беседы с ним, и по субъективным ощущениям самого пациента – то мы сочли возможным пойти ему навстречу в вопросе о целесообразности назначения ему психотропных средств.

Вместо этого мы решили, творчески используя в качестве отправных точек для наших размышлений предложенные исследовательской группой из США *Front-Line COVID Critical Care Alliance (FLCCC Alliance)* два протокола – протокол лечения «постковидного синдрома» [23] и протокол лечения поствакцинальных осложнений [24], оба известные под общим названием **I-RECOVER**, а также собранные нами в период работы над книгой «Депрессии и резистентность» данные об эффективности тех или иных витаминов, микроэлементов, антиоксидантов, омега-3 полиненасыщенных жирных кислот (омега-3 ПНЖК), препаратов холина, растительных адаптогенов и других нутрицевтиков в лечении депрессивных состояний [1, 2, 3] – подобрать этому пациенту некую схему терапии из исключительно натуральных компонентов, которая могла бы ему помочь, но которая при этом не вызвала бы возражений со стороны родителей пациента.

С учётом того, что важное место в жалобах данного пациента занимали жалобы именно на нарушения памяти, концентрации внимания и когнитивных функций, на хроническую усталость, быструю утомляемость, физическую слабость и другие проявления астено-депрессивного симптомокомплекса, а также с учётом данных о том, сколь важное место занимают нарушения в работе холинергической системы в патогенезе как когнитивных нарушений, так и синдрома хронической усталости – мы сочли целесообразным включить в схему терапии холина альфосцерат в дозе 400 мг 3 раза в сутки (1200 мг/сут).

Помимо холина альфосцерата, другими компонентами предложенной нами этому пациенту схемы лечения стали:

- 1) Смесь этиловых эфиров омега-3 ПНЖК, являющаяся единственной доступной на российском рынке формой выпуска омега-3 ПНЖК, которая зарегистрирована именно как лекарственное средство, а не как БАД, и поэтому проходит строгий контроль качества, в дозе 1 г 2 раза в сутки;
- 2) Пролонгированная форма мелатонина, которая также является зарегистрированным лекарством, в отличие от обычного, не пролонгированного, мелатонина, являющегося БАДом – в дозе 2 мг на ночь;
- 3) Комплексный препарат Ретинорм, который формально предназначен для улучшения состояния сетчатки глаза, но который оказался

удобен для наших целей тем, что он содержит в своём составе рекомендованные в протоколе I-RECOVER и во многих других протоколах лечения COVID-19 и постковидного синдрома витамин С, витамин Е, лютеолин, цинк и селен – в дозе 1 капсула 3 раза в день;

- 4) После измерения уровня 25-гидрокси-холекальциферола (25-гидрокси-витамина D) в плазме крови, оказавшегося пониженным (25 нг/мл) – к данной терапии был также добавлен водный раствор холекальциферола в дозе 5 000 IU в день.
- 5) Учитывая, что дефицит витамина D негативно влияет на всасывание в кишечнике двухвалентных катионов – кальция и магния, и что уровень магния в плазме крови, в отличие от уровня кальция в плазме, может не показать его дефицит в организме, так как магний, в противоположность кальцию, является в основном внутриклеточным катионом – к терапии также был добавлен комплексный препарат магния и витамина В6, в дозе 1 драже 3 раза в день.

Уже в первые дни от начала приёма данной схемы пациент отметил улучшение засыпания и снижение тревожности (что, скорее всего, связано с действием мелатонина и препаратов магния).

Спустя месяц приёма этой комбинации пациент отметил исчезновение постоянного чувства усталости, слабости, улучшение умственной и физической выносливости, улучшение памяти и концентрации внимания. Вместе с тем, по его словам, «к доболезненному уровню яркости и чёткости мышления» он к этому сроку ещё не вернулся. Побочных явлений от приёма комбинации пациент никаких не отметил.

Спустя ещё месяц приёма этой комбинации (то есть суммарно после 2-х месяцев лечения), в конце мая 2022 года, пациент заявил, что все симптомы, которые беспокоили его на момент первого обращения за консультацией, прошли, и что он ощущает, что полностью восстановился, вернулся к доболезненному уровню физического и когнитивного функционирования.

Поскольку у 19-летнего молодого человека, в противоположность людям пожилого возраста, при прочих равных условиях (в отсутствие, скажем, органических повреждений шишковидной железы или биполярного аффективного расстройства) – не должно быть проблем с эндогенной секрецией мелатонина и с налаживанием циркадных ритмов, то после этого заявления пациента мы предложили ему попробовать убрать пролонгированный мелатонин из схемы, одновременно дав рекомендации по гигиене сна. Отмена мелатонина у него прошла гладко и беспроблемно, рецидива бессонницы или тревожности отмечено не было.

Остальные компоненты первоначально назначенной схемы пациент продолжал принимать до начала сентября, так как, после обсуждения с ним, было признано нецелесообразным отменять их до окончания летней сессии с учётом возможных пересдач. Состояние клинической ремиссии сохраняется у данного пациента и по сей день, после отмены остальных компонентов схемы.

Заключение

Как видно из приведённых нами данных литературы, достаточное поступление экзогенного холина в организм – критически необходимо для нормального протекания огромного количества жизненно важных биохимических процессов нашего организма.

Среди холин-зависимых биохимических процессов – такие процессы, как биосинтез ацетилхолина (одного из важнейших нейромедиаторов), биосинтез фосфолипидов, необходимых для построения мембран клеток и клеточных органелл, стероидогенез в надпочечниках, половых железах и плаценте плода, трансмембранный транспорт сульфат-ионов, усвоение мышьяка (включение его в состав арсеналипидов) и обезвреживание избытка мышьяка (образование арсенобетаина), участие в трансметилировании и в работе одноуглеродного цикла (за счёт роли холина в образовании бетаина), участие в осморегуляции (за счёт образования бетаина), участие в образовании нитролипидов (нитрозилированных или нитрованных аналогов фосфатидилхолинов), в регуляции воспаления и иммунитета, в обезвреживании свободных радикалов и другие.

Многие из этих биохимических процессов – критически важны для функционирования прежде всего ЦНС, и нарушения в них систематически отмечаются при астенических состояниях, при депрессивных и тревожных расстройствах, в том числе и при постковидной астении.

Вся совокупность представленных в данном обзоре данных, на наш взгляд, позволяет сделать предварительные выводы о возможной перспективности применения препаратов холина (и, в частности, холина альфосцерата) как в монотерапии, так и в составе комплексной терапии астенических и/или астено-депрессивных состояний (особенно сопровождающихся нарушениями памяти, концентрации внимания, повышенной умственной утомляемостью), в том числе – вызванных перенесённым в ближайшем анамнезе COVID-19 (то есть развившихся в рамках постковидного синдрома).

Приведённый нами в статье клинический случай эффективного применения холина альфосцерата в составе комплексной терапии лёгкой фор-

мы постковидного астено-депрессивного синдрома у 19-летнего юноши (в комбинации с омега-3 ПНЖК, мелатонином, препаратом магния, витаминами и антиоксидантами) – на наш взгляд, достаточно хорошо иллюстрирует данный тезис. При этом терапевтический эффект, по-видимому, имеет накопительный характер и развивается постепенно.

Данный клинический случай также иллюстрирует, что в лёгких случаях депрессии или астении, если при этом пациент отказывается от приёма психотропных препаратов по тем или иным причинам, но не возражает против «натуральных компонентов» – то практически тот же эффект может быть достигнут при помощи грамотного подбора терапии, состоящей только из «натуральных компонентов».

Вместе с тем, мы хотели бы отметить, что для того, чтобы можно было сделать окончательные выводы об эффективности и безопасности применения препаратов холина для лечения астенических и/или астено-депрессивных состояний – необходимы организация и проведение крупных, многоцентровых, хорошо продуманных, методологически безупречных двойных слепых плацебо-контролируемых рандомизированных клинических испытаний (РКИ), с заранее чётко определёнными конечными точками, в качестве которых должны быть приняты клинически значимые исходы в лечении астении.

Мы считаем, что наш обзор достаточно убедительно показал, что изучение эффективности и безопасности применения холина альфосцерата в таком формате – может быть перспективным.

Список литературы / References

1. Быков Ю.В., Беккер Р.А., Резников М.К. Депрессии и резистентность. Практическое руководство. М.: РИОР: ИНФРА-М, 2013. 374 с. (Bykov Yu.V., Bekker R.A., Reznikov M.K. Depression and resistance. Practical guide. M.: RIOR: INFRA-M, 2013, 374 p.)
2. Быкова А.Ю., Быков Ю.В., Беккер Р.А. Преодоление фармакорезистентности при депрессии на фоне болезни Аддисона у пожилой пациентки: обзор литературы и клинический случай // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13(4). С. 316-351. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-4-316-351> (Bykova A.Yu., Bykov Yu.V., Bekker R.A. Overcoming drug resistance in depression associated with Addison's disease in an elderly patient: a review of the literature and a clinical case. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13(4), pp. 316-351. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-4-316-351>)

3. Мазо Г.Э., Незнанов Н.Г. Терапевтически резистентные депрессии. Санкт-Петербург, 2012. 448 с. (Mazo G.E., Neznanov N.G. Treatment-resistant depression. Saint Petersburg, 2012, 448 p.)
4. Машковский М.Д. Лекарственные средства. М.: Медгиз, 1974. (Mashkovsky M.D. Medicines. Moscow: Medgiz, 1974.)
5. Резников М.К., Беккер Р.А., Быков Ю.В. Преодоление фармакорезистентности при депрессии на фоне выраженной гиперкортизолемии: обзор литературы и клинический случай // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2016. №6 (78). С. 24-44. (Reznikov M.K., Bekker R.A., Bykov Yu.V. Overcoming drug resistance in depression against the background of severe hypercortisolemia: a review of the literature and a clinical case. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2016, no. 6 (78), pp. 24-44.)
6. Aleppo G., Nicoletti F., Sortino M.A., Casabona G., Scapagnini U., Canonico P.L. Chronic L--glycerylphosphorylcholine increases inositol phosphate formation in brain slices and neuronal cultures // *Pharmacol. Toxicol.* 1994, vol. 74, pp. 95–100. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0773.1994.tb01082.x>
7. Ameringer S., Smith W.R. Emerging biobehavioral factors of fatigue in sickle cell disease // *J Nurs Scholarsh.* 2011, vol. 43, no. 1, pp. 22-9. <https://doi.org/10.1111/j.1547-5069.2010.01376.x>
8. Bekdash R.A. Neuroprotective effects of choline and other methyl donors. *Nutrients*, 2019, vol. 11, p. 2995. <https://doi.org/10.3390/nu11122995>
9. Bernhard W., Poets C.F., Franz A.R. Choline and choline-related nutrients in regular and preterm infant growth // *Eur J Nutr.* 2019, vol. 5, no. 3, pp. 931–945. <https://doi.org/10.1007/s00394-018-1834-7>
10. Blacker C.V., Greenwood D.T., Wesnes K.A., Wilson R., Woodward C., Howe I., Ali T. Effect of galantamine hydrobromide in chronic fatigue syndrome: a randomized controlled trial // *JAMA*, 2004, vol. 292, no. 10, pp. 1195-204. <https://doi.org/10.1001/jama.292.10.1195>
11. Blume J., Douglas S.D., Evans D.L. Immune suppression and immune activation in depression // *Brain Behav. Immun.* 2011, vol. 25, pp. 221–229. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2010.10.008>
12. Blusztajn J.K., Lopez Gonzalez-Coviella I., Logue M., Growdon J.H., Wurtman R.J. Levels of phospholipid catabolic intermediates, glycerophosphocholine and glycerophosphoethanolamine, are elevated in brains of Alzheimer's disease but not of Down's syndrome patients // *Brain Res.* 1990, vol. 536, pp. 240–244. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(90\)90030-F](https://doi.org/10.1016/0006-8993(90)90030-F)
13. Blusztajn J.K., Slack B.E., Mellott T.J. Neuroprotective Actions of Dietary Choline // *Nutrients*, 2017, vol. 9, no. 8, p. 815. <https://doi.org/10.3390/nu9080815>

14. Böckmann K.A., Franz A.R., Minarski M., Shunova A., Maiwald C.A., Schwarz J., Gross M., Poets C.F., Bernhard W. Differential metabolism of choline supplements in adult volunteers // *Eur J Nutr*, 2022, vol. 61, no. 1, pp. 219-230. <https://doi.org/10.1007/s00394-021-02637-6>
15. Buchman A.L., Sohel M., Brown M., Jenden D.J., Ahn C., Roch M., Brawley T.L. Verbal and visual memory improve after choline supplementation in long-term total parenteral nutrition: a pilot study // *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 2001, vol. 25, no. 1, pp. 30-5. <https://doi.org/10.1177/014860710102500130>
16. Bynke A., Julin P., Gottfries C.G., Heidecke H., Scheibenbogen C., Bergquist J. Autoantibodies to beta-adrenergic and muscarinic cholinergic receptors in Myalgic Encephalomyelitis (ME) patients - A validation study in plasma and cerebrospinal fluid from two Swedish cohorts // *Brain Behav Immun Health*, 2020, vol. 7, p. 100107. <https://doi.org/10.1016/j.bbih.2020.100107>
17. Chau D., Ng K., Chan T.S., Cheng Y.Y., Fong B., Tam S., Kwong Y.L., Tse E. Azacytidine sensitizes acute myeloid leukemia cells to arsenic trioxide by up-regulating the arsenic transporter aquaglyceroporin 9 // *J Hematol Oncol*, 2015, vol. 8, pp. 46. <https://doi.org/10.1186/s13045-015-0143-3>
18. Cohen D.E. Hepatocellular transport and secretion of biliary phospholipids // *Semin Liver Dis*, 1996, vol., 16, no. 2, pp. 191–200. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1007231>
19. Cohen E.L., Wurtman R.J. Brain acetylcholine: increase after systemic choline administration // *Life Sci*, 1975, vol. 16, no. 7, pp. 1095–102. [https://doi.org/10.1016/0024-3205\(75\)90194-0](https://doi.org/10.1016/0024-3205(75)90194-0)
20. Dembitsky V.M., Levitsky D.O. Arsenolipids // *Prog Lipid Res*, 2004, vol. 43, no. 5, pp. 403-48. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2004.07.001>
21. Duarte S., Melo T., Domingues R., Alché J.D., Pérez-Sala D. Insight into the cellular effects of nitrated phospholipids: Evidence for pleiotropic mechanisms of action // *Free Radic Biol Med*, 2019, vol. 144, pp. 192-202. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2019.06.003>
22. Elsaïs A., Wyller V.B., Loge J.H., Kerty E. Fatigue in myasthenia gravis: is it more than muscular weakness? *BMC Neurol*. 2013, vol. 13, pp. 132. <https://doi.org/10.1186/1471-2377-13-132>
23. FLCCC Protocol on Long-COVID Treatment (I-RECOVER). Available at: <https://covid19criticalcare.com/covid-19-protocols/i-recover-long-covid-treatment/>
24. FLCCC Protocol on Post-Vaccine Problem Treatment (I-RECOVER). Available at: <https://covid19criticalcare.com/covid-19-protocols/i-recover-post-vaccine-treatment/>

25. Food and Nutrition Board. Dietary Reference Intakes for Thiamin, Riboflavin, Niacin, Vitamin B6, Folate, Vitamin B12, Panthothenic Acid, Biotin, and Cholin. National Academy Press; Washington, DC, USA: 1998.
26. Freeman B.A., Valerie B O'Donnell V.B., Schopfer F.J. The discovery of nitro-fatty acids as products of metabolic and inflammatory reactions and mediators of adaptive cell signaling // *Nitric Oxide*. 2018, vol. 7, pp. 106-111. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2018.05.002>
27. Gamus D. Cholinergic anti-inflammatory pathway of some non-pharmacological therapies of complementary medicine: possible implications for treatment of rheumatic and autoimmune diseases // *Harefuah*, 2011, vol. 150, no. 8, pp. 660-663.
28. Gandasegui I.M., Laka L.A., Gargiulo P.A., Gómez-Esteban J.C., Sánchez J.V. Myalgic Encephalomyelitis/Chronic Fatigue Syndrome: A Neurological Entity? // *Medicina (Kaunas)*, 2021, vol. 57, no. 10, p. 1030. <https://doi.org/10.3390/medicina57101030>
29. Gavrilova S. I., Kolykhalov I.V., Ponomareva E.V., Fedorova Ya.B., Selezneva N.D. [Clinical efficacy and safety of choline alfoscerate in the treatment of late-onset cognitive impairment]. [Article in Russian] // *Zh Nevrol Psikhiatr Im S S Korsakova*, 2018, vol. 118, no. 5, pp. 45-53. <https://doi.org/10.17116/jnevro20181185145>
30. Geng X., McDermott J., Lundgren J., Tsai K.J., Shen J., Liu Z. Role of AQP9 in transport of monomethylselenic acid and selenite // *Biomaterials*, 2017, vol. 30, no. 5, pp. 747-755. <https://doi.org/10.1007/s10534-017-0042-x>
31. Gennaro M.M., Mariagrazia P., De Lorenzo R., Magnaghi C., Poletti S., Furlan R., Ciceri F., Rovere-Querini P., Benedetti F. Persistent psychopathology and neurocognitive impairment in COVID-19 survivors: Effect of inflammatory biomarkers at three-month follow-up // *Brain Behav. Immun*, 2021, vol. 94, pp. 138–147. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2021.02.021>
32. Govoni S., Lopez C., Battaini F., Longoni A., Trabucchi M. Effetti di GFC sul comportamento di evitamento passivo del ratto e sui livelli di acetilcolina // *Basi. Raz. Ter*, 1990, vol. 20, pp. 55–60.
33. Hartwig J., Sotzny F., Bauer S., Heidecke H., Riemekasten G., Dragun D., Meisel C., Dames C., Grabowski P., Scheibenbogen C. 5IgG stimulated β_2 adrenergic receptor activation is attenuated in patients with ME/CFS // *Brain Behav Immun Health*, 2020, vol. 3, p. 100047. <https://doi.org/10.1016/j.bbih.2020.100047>
34. Hoel F., Hoel A., Pettersen I.K., Rekeland I.G., Risa K., Alme K., Sørland K., Fosså A., Lien K., Herder I., Thürmer H.L., Gotaas M.E., Schäfer C., Berge R.K., Sommerfelt K., Marti H.S., Dahl O., Mella O., Fluge O., Tronstad K.J. A map of metabolic phenotypes in patients with myalgic encephalomyelitis/chron-

- ic fatigue syndrome // JCI Insight, 2021, vol. 6, no. 16, p. e149217. <https://doi.org/10.1172/jci.insight.149217>
35. Hunt J., Blease C., Geraghty K.J. Long Covid at the crossroads: Comparisons and lessons from the treatment of patients with myalgic encephalomyelitis/chronic fatigue syndrome (ME/CFS) // J Health Psychol, 2022, 13591053221084494. <https://doi.org/10.1177/13591053221084494>
 36. Johnston S., Staines D., Klein A., Marshall-Gradisnik S. A targeted genome association study examining transient receptor potential ion channels, acetylcholine receptors, and adrenergic receptors in Chronic Fatigue Syndrome/Myalgic Encephalomyelitis // BMC Med Genet, 2016, vol. 17, no. 1, p. 79. <https://doi.org/10.1186/s12881-016-0342-y>
 37. Joseph P., Pari R., Miller S., Warren A., Stovall M.C., Squires J., Chang C.J., Xiao W., Waxman A.B., Systrom D.M. Neurovascular Dysregulation and Acute Exercise Intolerance in ME/CFS: A Randomized, Placebo-Controlled Trial of Pyridostigmine // Chest, 2022, p. S0012-3692(22)00890-X. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2022.04.146>
 38. Kanczkowski W., Beuschlein F., Bornstein S.R. Is there a role for the adrenal glands in long COVID? // Nat Rev Endocrinol, 2022, vol. 18, no. 8, pp. 451-452. <https://doi.org/10.1038/s41574-022-00700-8>
 39. Li Z., Vance D.E. Phosphatidylcholine and choline homeostasis // J Lipid Res, 2008, vol. 49, no. 6, pp.1187-94. <https://doi.org/10.1194/jlr.R700019-JLR200>
 40. Loebel M., Grabowski P., Heidecke H., Bauer S., Hanitsch L.G., Wittke K., Meisel C., Reinke P., Volk H.D., Fluge O., Mella O., Scheibenbogen C. Antibodies to β adrenergic and muscarinic cholinergic receptors in patients with Chronic Fatigue Syndrome // Brain Behav Immun. 2016, vol. 52, pp. 32-39. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2015.09.013>
 41. Mariajoseph-Antony L.F., Kannan A., Panneerselvam A., Loganathan C., Anbarasu K., Prahalathan C. Could aquaporin modulators be employed as prospective drugs for COVID-19 related pulmonary comorbidity? // Med Hypotheses, 2020, vol. 143, p. 110201. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2020.110201>
 42. Marshall-Gradisnik S., Johnston S., Chacko A., Nguyen T., Smith P., Staines D. Single nucleotide polymorphisms and genotypes of transient receptor potential ion channel and acetylcholine receptor genes from isolated B lymphocytes in myalgic encephalomyelitis/chronic fatigue syndrome patients // J Int Med Res, 2016, vol. 44, no. 6, pp. 1381-1394. <https://doi.org/10.1177/0300060516671622>
 43. Meck W.H., Williams C.L. Simultaneous temporal processing is sensitive to prenatal choline availability in mature and aged rats // Neuroreport, 1997, vol. 8, pp. 3045–3051. <https://doi.org/10.1097/00001756-199709290-00009>

44. Meena H., Pandey H.K., Arya M.C., Ahmed Z. Shilajit: A panacea for high-altitude problems // *Int J Ayurveda Res*, 2010, vol. 1, no. 1, pp. 37-40. <https://doi.org/10.4103/0974-7788.59942>
45. Miller A.H. Depression and immunity: A role for T cells? // *Brain Behav. Immun*, 2010, vol. 24, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2009.09.009>
46. Mirza S.A., Sheikh A.A., Barbera M., Ijaz Z., Javaid M.A., Shekhar R., Pal S., Sheikh A.B. COVID-19 and the Endocrine System: A Review of the Current Information and Misinformation // *Infect Dis Rep*, 2022, vol. 14, no. 2, pp. 184-197. <https://doi.org/10.3390/idr14020023>
47. Montero O., Balgoma D., Gil-De-Gómez L. *Advances in Lipidomics: Biomedicine, Nutrients and Methodology*. Mdpi AG, 2021. 248 pages. ISBN 978-3036511863.
48. Mowbray J.F., Yousef G.E. Immunology of postviral fatigue syndrome // *Br Med Bull*, 1991, vol. 47, no. 4, pp. 886-94. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.bmb.a072518>
49. Naber M., Hommel B., Colzato L. S. Improved human visuomotor performance and pupil constriction after choline supplementation in a placebo-controlled double-blind study // *Scientific Reports* 2015, vol. 5, pp.13188. <https://doi.org/10.1038/srep13188>
50. Nag N., Berger-Sweeney J.E. Postnatal dietary choline supplementation alters behavior in a mouse model of Rett syndrome // *Neurobiol. Dis*, 2007, vol. 26, pp. 473–480. <https://doi.org/10.1016/j.nbd.2007.02.003>
51. Natelson B.H. Brain dysfunction as one cause of CFS symptoms including difficulty with attention and concentration // *Front Physiol*, 2013, vol. 4, p. 109. <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00109>
52. Neves B., Pérez-Sala D., Ferreira H.B., Guerra I.M., Moreira A.S., Domingues P., Rosário Domingues M., Melo T. Understanding the nitrolipidome: From chemistry to mass spectrometry and biological significance of modified complex lipids // *Prog Lipid Res*, 2022, vol., 87, p. 101176. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2022.101176>
53. Nielsen F.H. How should dietary guidance be given for mineral elements with beneficial actions or suspected of being essential? // *J Nutr*, 1996, vol. 126, no. 9, p. 2377S-2385S. https://doi.org/10.1093/jn/126.suppl_9.2377S
54. Nielsen F.H. Ultratrace elements of possible importance for human health: an update // *Prog Clin Biol Res*, 1993, vol. 380, pp. 355-376.
55. Parnetti L., Mignini F., Tomassoni D., Traini E., Amenta F. Cholinergic precursors in the treatment of cognitive impairment of vascular origin: Ineffective approaches or need for re-evaluation? // *J. Neurol. Sci.* 2007, vol. 257, pp. 264–269. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2007.01.043>

56. Paul T., Ledderose S., Bartsch H., et al. Adrenal tropism of SARS-CoV-2 and adrenal findings in a post-mortem case series of patients with severe fatal COVID-19 // *Nat Commun*, 2022, vol. 13, no. 1, p. 1589. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-29145-3>
57. Poly C., Massaro J.M., Seshadri S., Wolf P.A., Cho E., Krall E., Jacques P.F., Au R. The relation of dietary choline to cognitive performance and white-matter hyperintensity in the Framingham Offspring Cohort // *Am. J. Clin. Nutr*, 2011, vol. 94, pp.1584–1591. <https://doi.org/10.3945/ajcn.110.008938>
58. Pynn C.J., Henderson N.G., Clark H., Koster G., Bernhard W., Postle A., D. Specificity and rate of human and mouse liver and plasma phosphatidylcholine synthesis analyzed in vivo // *J Lipid Res*, 2011, vol. 52, no. 2, pp. 399–407. <https://doi.org/10.1194/jlr.D011916>
59. Ross P. M. Chemical sensitivity and fatigue syndromes from hypoxia/hypercapnia // *Med Hypotheses*, 2000, vol. 54, no. 5, pp. 734-8. <https://doi.org/10.1054/mehy.1999.0942>
60. Ruiz P. *Comprehensive textbook of psychiatry*, 2017
61. Rumsby G, Farrow S. *Molecular Endocrinology: Genetic Analysis of Hormones and their Receptors*. Garland Science, 2020, 280 p.
62. Schettini G., Florio T., Ventra C. Effetto del trattamento in vivo con -GFC (colina alfoscerato) sull'attivita` dei sistemi di trasduzione a livello cerebrale // *Basi. Raz. Ter.*, 1990, vol, 20, pp. 23–30.
63. Shivani F., Kumari N., Bai P., Rakesh F., Haseeb M., Kumar S., Jamil A., Zaidi M., Shaukat F., Rizwan A. Long-Term Symptoms of COVID-19: One-Year Follow-Up Study // *Cureus*, 2022, vol., 14, no. 6, p. e25937. <https://doi.org/10.7759/cureus.25937>
64. Sigala S., Imperato A., Rizzonelli P., Casolini P., Missale C., Spano P. L-alpha-glycerylphosphorylcholine antagonizes scopolamine-induced amnesia and enhances hippocampal cholinergic transmission in the rat // *Eur. J. Pharmacol*, 1992, vol. 21, pp. 351–358. [https://doi.org/10.1016/0014-2999\(92\)90392-h](https://doi.org/10.1016/0014-2999(92)90392-h)
65. Skripuletz T., Manzel A., Gropengießer K., Schäfer N., Gudi V., Singh V., Tejedor L.S., Jörg S., Hammer A., Voss E., Vulinovic F., Degen D., Wolf R., Lee D.H., Pul R., Moharreggh-Khiabani D., Baumgärtner W., Gold R., Linker R. A., Stangel M. Pivotal Role of Choline Metabolites in Remyelination // *Brain*, 2015, vol.138, pp. 398–413. <https://doi.org/10.1093/brain/awu358>
66. Song G.J., Suk K. Pharmacological Modulation of Functional Phenotypes of Microglia in Neurodegenerative Diseases // *Front. Aging Neurosci*, 2017, vol. 9, p. 139. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2017.00139>
67. Stahl S.M. *Stahl's Essential Psychopharmacology: Neuroscientific Basis and Practical Applications*. Cambridge university press, 2013. 626 p.

68. Stefano G. B. Historical Insight into Infections and Disorders Associated with Neurological and Psychiatric Sequelae Similar to Long COVID // *Med Sci Monit*, 2021, vol. 27, p. e931447. <https://doi.org/10.12659/MSM.931447>
69. Sun Y., Liang C., Zheng L., Liu L., Li Z., Yang G., Li Y. Anti-fatigue effect of hypericin in a chronic forced exercise mouse model // *J Ethnopharmacol*, 2022, vol. 284, p. 114767. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114767>
70. Thomas J.D., La Fiette M.H., Quinn V.R., Riley E.P. Neonatal choline supplementation ameliorates the effects of prenatal alcohol exposure on a discrimination learning task in rats // *Neurotoxicol. Teratol*, 2000, vol. 22, pp. 703–711. [https://doi.org/10.1016/s0892-0362\(00\)00097-0](https://doi.org/10.1016/s0892-0362(00)00097-0)
71. Traini E., Bramanti V., Amenta F. Choline alphoscerate (alpha-glyceryl-phosphoryl-choline) an old choline- containing phospholipid with a still interesting profile as cognition enhancing agent // *Curr Alzheimer Res*, 2013, vol. 10, no. 10, pp. 1070-9. <https://doi.org/10.2174/15672050113106660173>
72. Turan T., Izgi H.B., Ozsoy S., Tanrıverdi F., Basturk M., Asdemir A., Beşirli A., Esel E., Sofuoglu S. The effects of galantamine hydrobromide treatment on dehydroepiandrosterone sulfate and cortisol levels in patients with chronic fatigue syndrome // *Psychiatry Investig*, 2009, vol. 6, no. 3, pp. 204-210. <https://doi.org/10.4306/pi.2009.6.3.204>
73. Uthus E. O., Nielsen F.H. Determination of the possible requirement and reference dose levels for arsenic in humans, *Scand J Work Environ Health*, 1993, vol. 19, no. 1, pp. 137-138.
74. Vernon S.D., Funk S., Bateman L., Stoddard G.J., Hammer S., Sullivan K., Bell J., Abbaszadeh S., Lipkin W.I., Komaroff A.L. Orthostatic Challenge Causes Distinctive Symptomatic, Hemodynamic and Cognitive Responses in Long COVID and Myalgic Encephalomyelitis/Chronic Fatigue Syndrome // *Front Med (Lausanne)*, 2022, vol. 9, p. 917019. <https://doi.org/10.3389/fmed.2022.917019>
75. Villacorta L., Gao Z., Schopfer F.J., Freeman B.A., Chen Y.E. Nitro-fatty acids in cardiovascular regulation and diseases: characteristics and molecular mechanisms // *Front Biosci (Landmark Ed)*, 2016, vol. 21, no. 4, pp. 873-889. <https://doi.org/10.2741/4425>
76. Wallace T.C., Blusztajn J.K., Caudill M.A., Klatt K.C., Natker E., Zelman K.M. Choline // *Nutr Today*, 2018, vol. 53, no. 6, pp. 240–253. <https://doi.org/10.1097/NT.0000000000000302>
77. Wiedeman A.M., Barr S.I., Green T.J., Xu Z., Innis S.M., Kitts D.D. Dietary choline intake: current state of knowledge across the life cycle // *Nutrients*, 2018, vol.10, no.10, p.1513. <https://doi.org/10.3390/nu10101513>
78. Xu X., Gammon M.D., Zeisel S.H., Lee Y.L., Wetmur J.G., Teitelbaum S.L., Bradshaw P.T., Neugut A.I., Santella R.M., Chen J. Choline metabolism and

- risk of breast cancer in a population-based study // FASEB J, 2008 vol. 22, pp. 2045–2052. <https://doi.org/10.1096/fj.07-101279>
79. Yamamoto S., Ouchi Y., Nakatsuka D. Reduction of [11C](+)-3-MPB binding in brain of chronic fatigue syndrome with serum autoantibody against muscarinic cholinergic receptor // PLoS One, 2012, vol. 7, no. 1, p. e51515. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051515>
80. Yang Y., Liu Z., Cermak J.M., Tandon P., Sarkisian M.R., Stafstrom C.E., Neill J.C., Blusztajn J.K., Holmes G.L. Protective effects of prenatal choline supplementation on seizure-induced memory impairment // J. Neurosci, 2000, vol. 20, p. RC109. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.20-22-j0006.2000>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Магомедова Камила Шамхаловна, врач-терапевт

*Степновская районная больница
ул. Додонова, 52А, с. Степное, Ставропольский край, 357930, Рос-
сийская Федерация
kamilla.2017@bk.ru*

Быков Юрий Витальевич, врач анестезиолог-реаниматолог, врач пси-
хиатр-нарколог, кандидат медицинских наук, ассистент кафедры
анестезиологии, реаниматологии и скорой медицинской помощи,
педиатрический факультет

*ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный медицинский уни-
верситет Минздрава России»
ул. Мира, 310, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
yubykov@gmail.com*

Беккер Роман Александрович, независимый исследователь в области
психофармакологии

romanbekker2022@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHORS

Kamila Sh. Magomedova, General Practitioner

*Stepnovskaya District Hospital
52A, Dodonova Str., Stepnoye village, Stavropol region, 357930, Russian
Federation
kamilla.2017@bk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1167-9074>*

Yuriy V. Bykov, Anesthesiologist, Psychiatrist, Addiction Medicine Specialist, Candidate of Medical Sciences, Teaching Assistant at the Department of Anesthesiology, Reanimatology and Emergency Care, Department of Pediatrics

Stavropol State Medical University

310, Mira Str., Stavropol, 355017, Russian Federation

yubykov@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4705-3823>

Roman A. Bekker, independent researcher in psychopharmacology

romanbekker2022@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0773-3405>

Поступила 25.10.2022

После рецензирования 13.11.2022

Принята 20.11.2022

Received 25.10.2022

Revised 13.11.2022

Accepted 20.11.2022

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

INTERDISCIPLINARY RESEARCH

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-435-453

УДК 378-61-316.7



Научная статья | Организация образовательного процесса

**ВЗАИМОСВЯЗЬ СМЫСЛОЖИЗНЕННЫХ
ОРИЕНТАЦИЙ И УЧЕБНО-ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ
МОТИВАЦИИ ОРДИНАТОРОВ С РАЗНЫМ
УРОВНЕМ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОПЫТА***Е.Р. Зинкевич, М.А. Коргожа, Н.А. Яцевич*

Обоснование. В современных образовательных условиях российской действительности педагогическое сообщество медицинских вузов на этапе последиplomного образования большое внимание уделяет психологической готовности врачей к профессиональной деятельности, что обуславливает проведение исследований, предполагающих изучение взаимосвязи смысложизненных ориентаций и учебно-профессиональной мотивации ординаторов с разным уровнем профессионального опыта. В 2021-2022 учебном году в Санкт-Петербургском государственном педиатрическом медицинском университете на факультете клинической психологии было проведено исследование, иллюстрирующее заявленную проблематику.

Цель исследования. Изучить взаимосвязь смысложизненных ориентаций и учебно-профессиональной мотивации ординаторов с разным уровнем профессионального опыта.

Материалы и методы. В настоящем исследовании приняли участие 65 ординаторов 2 года обучения различных клинических специальностей, их средний возраст – 25,5 лет. Вся выборка участников исследования была разделена на две подгруппы по параметру вовлеченности в профессиональную деятельность. Данный параметр рассматривался необходимым для изучения взаимосвязи смысложизненных ориентаций и учебно-профессиональной мотивации ординаторов.

Из всей совокупности респондентов 69% совмещали обучение в ординатуре с работой по своей специальности, 31% – осваивали специальность на этапе последиplomного образования.

На организацию исследования было получено разрешение Локального этического комитета Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета. Респонденты давали согласие на участие в исследовании.

Для оценки результатов использовались методы описательной статистики, сравнительный анализ с применением критерия U-Манна-Уитни для независимых переменных и T-критерий Вилкоксона для зависимых переменных, корреляционный анализ взаимосвязей показателей с использованием критерия Спирмена, расчет которых производился с помощью пакета прикладных программ STATISTICA12.0.

Результаты. Проведенное исследование позволило сформировать представление о взаимосвязи смысложизненных ориентаций и учебно-профессиональной мотивации ординаторов с разным уровнем профессионального опыта.

Заключение. Результаты исследования послужат основанием для переосмысления подходов к организации образовательного процесса обучающихся на этапе ординатуры, поиска способов воспитания и обучения, обеспечивавших развитие их учебно-профессиональной мотивации и влияющих на формирование системы смысложизненных ориентаций.

Ключевые слова: ординатура; медицинское образование; смысложизненные ориентации; учебно-профессиональная мотивация; профессиональный опыт

Для цитирования. Зинкевич Е.Р., Коргожа М.А., Яцевич Н.А. Взаимосвязь смысложизненных ориентаций и учебно-профессиональной мотивации ординаторов с разным уровнем профессионального опыта // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №2. С. 435-453. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-435-453

Original article | Organization of the Educational Process

THE RELATIONSHIP OF MEANING-LIFE ORIENTATIONS AND EDUCATIONAL AND PROFESSIONAL MOTIVATION OF RESIDENTS WITH DIFFERENT LEVELS OF PROFESSIONAL EXPERIENCE

E.R. Zinkevich, M.A. Korgozha, N.A. Yatsevich

Background. In the modern educational conditions of Russian reality, the pedagogical community of medical universities at the stage of postgraduate education

pays great attention to the readiness of doctors for professional activities, which determines the conduct of research involving the study of the relationship between meaning-life orientations and educational and professional motivation of residents with different levels of professional experience. In the 2021-2022 academic year, a study illustrating the stated problems was conducted at the St. Petersburg State Pediatric Medical University at the Faculty of Clinical Psychology.

Purpose. To study the relationship between meaningful life orientations and educational and professional motivation of residents with different levels of professional experience.

Materials and methods. The present study involved 65 residents of 2 years of training in various clinical specialties, their average age is 25.5 years. The entire sample of study participants was divided into two subgroups according to the parameter of involvement in professional activities. This parameter was considered necessary for studying the relationship between meaning-life orientation and educational and professional motivation of residents.

Of the total number of respondents, 69% combined residency training with work in their specialty, 31% mastered the specialty at the stage of postgraduate education. Permission was obtained from the Ethics Committee of the St. Petersburg State Pediatric Medical University to organize the study. Respondents agreed to participate in the study. To evaluate the results, descriptive statistical methods, a comparative analysis using the U-Mann-Whitney criterion for explanatory variables and the Wilcoxon T-test for dependent variables, a correlation analysis of the relationships of indicators using the Spearman criterion, calculated using the STATISTICA 12.0 application package, were used.

Outcomes. The study allowed to form an idea of the relationship between meaning-life orientations and educational and professional motivation of residents with different levels of professional experience.

Conclusions. The results of the study will serve as the basis for rethinking the approaches to the organization of the educational process of students at the stage of residency, the search for ways of education and training that ensured the development of their educational and professional motivation and affect the formation of a system of meaning-life orientations.

Keywords: residency; medical education; meaning-life orientations; educational and professional motivation; professional experience

For citation. Zinkevich E.R., Korgozha M.A., Yatsevich N.A. The Relationship of Meaning-life Orientations and Educational and Professional Motivation of Residents with Different Levels of Professional Experience. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 435-453. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-435-453

Введение

Смысложизненные ориентации рассматриваются психологическим феноменом, целостной системой сознательных и избирательных связей, отражающих направленность личности, наличие жизненных целей, осмысленность выборов и оценок, удовлетворенность жизнью (самореализацией) и способность брать за нее ответственность, влияя на ее ход [6].

Наличие смысла жизни является ведущим критерием сформированности личности, показателем готовности к управлению своей жизнью и независимостью от внешних обстоятельств, при этом смысловые ориентации являются проекцией духовной жизни общества, формируются под влиянием общественных воздействий, обусловлены системой воспитания и обучения, определенной структурой общественных отношений [9; 10].

В современном мире социальных и экономических реформ способность личности самостоятельно осмысливать свои жизненные цели и добиваться их достижения на различных этапах образования приобретает особое значение. В последнее время появилось много исследований, посвященных смысложизненным ориентациям субъектов разных возрастов и социальных статусов, в частности, исследуется заявленный феномен в структуре эго-идентичности студентов медицинского вуза, изучается взаимосвязь их смысложизненных ориентаций и уровня самоактуализации личности, устанавливается взаимосвязь с базовыми личностными смысловыми установками [1; 12; 16; 17]. Также в педагогическом сообществе медицинских вузов в качестве актуальной проблемы рассматривается формирование смысложизненных ориентаций субъектов образовательного процесса на этапе последиplomного образования [14].

Исследование Е.А. Магазевой показало, что личностной детерминантой выбора врачебной специализации обучающимися учреждений высшего медицинского образования являются смысложизненные ориентации, от которых зависит специфика аргументации такого выбора, а также наличие или отсутствие внутриличностного конфликта [7].

Понятие «смысложизненные ориентации» можно рассмотреть в двух аспектах. Во-первых, это те сферы жизни, в которых данный конкретный человек с наибольшей вероятностью может найти смысл своей жизни. Во-вторых, это связь смысла жизни с будущим, настоящим и прошлым человека. Такие ориентации отражают наличие значимой цели, которая присутствует в жизни человека, иллюстрируют, насколько он считает процесс своей жизни насыщенным и интересным, в какой степени он удовлетворен жизненными успехами [3].

Исследования российских ученых показали зависимость удовлетворенности трудом от смысложизненных ориентаций у медицинских работников, которые предполагают осознанный выбор профессии, самоотдачу, творческий подход, системное повышение квалификации, ответственность за свои действия и жизни других людей, способность принимать верные решения в условиях неопределенности и цейтнота [14].

По мнению ряда исследователей, источником формирования смысложизненных ориентаций субъектов – будущих врачей – является этико-деонтологическая культура, как многоплановое и сложное явление, состоящее из ценностных ориентаций человека и комплекса его специальных медицинских знаний, необходимых для демонстрации пациент-центрированного поведения и лично ориентированной практики будущего врача. Основой этико-деонтологической культуры являются смысложизненные ориентации субъекта как нравственные ориентиры его взглядов, убеждений, мировоззрения и, в конечном итоге, профессионального поведения [5].

Формирование этико-деонтологической культуры будущего врача – длительный процесс, который осуществляется на основе инициации смыслообразования учащихся в практике образовательного процесса в воспитательной системе медицинского вуза на всех этапах подготовки специалиста [2]. И это не только овладение будущими врачами культурным наследием, но обретение новых личностных качеств и их последующая реализация в профессиональной деятельности.

Современный этап развития российского медицинского образования характеризуется значительными изменениями, которые обусловлены социально-культурными переменами, связанными с изменением представления о человеке как наивысшей ценности [17]. Заявленная идея отражена в Концепции развития системы здравоохранения российского государства [4].

Результаты комплексного исследования, проведенного Росстатом (Федеральной службой государственной статистики), свидетельствуют о том, что лишь незначительное число выпускников медицинского вуза остаются верными выбранной профессиональной деятельности [13]. Одной из причин сложившейся ситуации может являться несформированность смысложизненных ориентаций специалистов.

Материалы и методы исследования

В 2021-2022 учебном году на базе факультета клинической психологии ФГБОУ ВО СПбГПМУ Минздрава РФ было проведено исследование, предполагающее изучение взаимосвязи смысложизненных ориентаций и

учебно-профессиональной мотивации ординаторов с разным уровнем профессионального опыта.

В исследовании приняли участие 65 ординаторов 2 года обучения различных клинических специальностей, из которых: 47% анестезиологов-реаниматологов, 31% акушеров-гинекологов и 22% врачей других специализаций (гастроэнтерологи, аллергологи, кардиологи). Средний возраст ординаторов, участвующих в исследовании, – 25,5 лет.

Из всех 65 участников исследования 69% совмещали обучение в ординатуре с активной профессиональной деятельностью по своей специальности.

Несмотря на значительно большее количество респондентов, совмещающих учебно-познавательную и профессиональную деятельность, в отличие от ординаторов, занимающихся исключительно учебной деятельностью, нами было принято решение разделить всех респондентов на две группы по параметру вовлеченности в профессиональную деятельность. Для достижения исследовательской цели, с нашей точки зрения, такое разделение являлось целесообразным.

Для реализации цели исследования был подобран комплекс диагностических методик: семантический дифференциал Ч. Осгуда (стимульные вопросы «Каким я вижу себя в прошлом/ настоящем/ будущем?», «Каким я вижу себя врачом на сегодняшний день?», «Каким я вижу себя врачом в будущем?», «Каким я вижу «хорошего врача»?»); опросник К. Леонгарда и Н. Шмишека (в адаптации В.М. Блейхера), выявляющий тип акцентуации личности; методика изучения мотивов учебной деятельности студентов педагогических специальностей М.М. Калашниковой, В.Н. Косырева и О.В. Щекочихина; тест «Смысложизненные ориентации» Д.А. Леонтьева; методика «Морфологический тест жизненных ценностей» В.Ф. Сопова и Л.В. Карпушиной; методика изучения мотивации профессиональной деятельности «Дифференциально-диагностический опросник» Е.А. Климова. Также с каждым из участников исследования проводилось интервьюирование для уточнения вопросов специфики реализации их учебно-познавательной и профессиональной деятельности.

При статистической обработке данных использовались методы описательной статистики, сравнительный анализ с применением критерия U-Манна-Уитни для независимых переменных и T-критерий Вилкоксона для зависимых переменных, корреляционный анализ взаимосвязей показателей с использованием критерия Спирмена, расчет которых производился с помощью пакета прикладных программ STATISTICA 12.0.

Результаты исследования.

Для выявления особенностей учебно-профессиональной мотивации ординаторов важным фактором является степень удовлетворенности респондентов обучением в ординатуре и своей профессиональной деятельностью.

В результате разделения участников исследования на группы в связи с наличием опыта профессиональной деятельности первую группу составили 20 ординаторов, во вторую группу вошли 45 ординаторов, совмещающих учебу и работу по специальности. В этой группе 44% респондента по месту своей работы выполняют функционал среднего медицинского персонала, 32% респондентов работают в качестве «врача-стажера» или «врача-ассистента», осуществляя помощь действующему основному медицинскому персоналу, 20% респондентов работают врачами, выполняя все основные функции в соответствии со своей специальностью. Один ординатор состоит в должности заведующего отделением.

Было выявлено, что средний уровень удовлетворенности ординаторов процессом обучения равен $6,7 \pm 2,5$ баллам по 10-ти балльной шкале. В среднем удовлетворенность учебной работой в ординатуре в первой группе немного выше ($7,5 \pm 1,9$ баллов), чем во второй ($6,3 \pm 2,6$ баллов), однако, данные различия статистически не значимы ($p > 0,05$). Более низкие значения удовлетворенности обучением ординаторов второй группы может быть связано с наличием фактического опыта профессиональной деятельности, более критического отношения к программному материалу дисциплин, а также объективными сложностями совмещения учебы и работы.

При интервьюировании респондентов второй группы дополнительно уточнялась информация о стаже работы и степени удовлетворенности своей практической профессиональной деятельностью. Выявлено, что чаще всего ординаторы имели в среднем трехгодичный опыт профессиональной деятельности ($M_o = 3$ года). Наименьший стаж профессиональной деятельности (до 1 года) выявлен у 16% респондентов, наибольший стаж (5 и более лет) выявлен у 24% участников исследования.

Такой разброс данных о фактическом опыте профессиональной деятельности участников исследования связан с доступностью возможности и необходимостью обучения в ординатуре специалистов с различным стажем работы по профессии. Средний уровень удовлетворенности ординаторов своей работой равен $7,1 \pm 2,2$ баллам по 10-ти балльной шкале. Значимых различий между уровнями удовлетворенности ординаторов учебной и работой выявлено не было ($p > 0,05$).

Однако тенденция к более высокой оценке степени удовлетворенности своей профессиональной деятельностью является благоприятным прогностическим фактором для формирования позитивного отношения к собственной профессии врача и фактором профилактики профессионального эмоционального выгорания начинающих специалистов.

Для выявления особенностей отношения к себе и жизненной перспективе респондентов, а также установок по отношению к образу врача в исследовании использовалась методика семантического дифференциала. Для более наглядного представления результатов, полученные данные отражены в графическом варианте на рисунке 1.

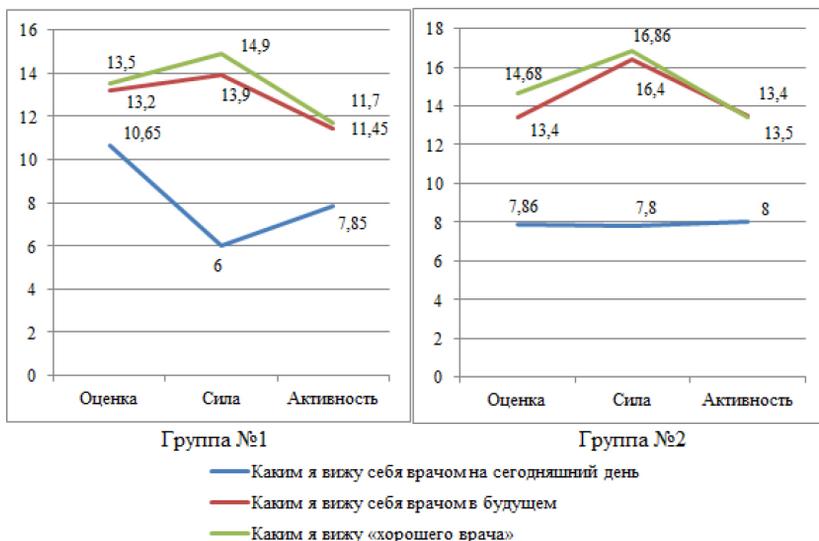


Рис. 1. Результаты определения семантических значений отношения респондентов к профессии врача

Было выявлено, что наиболее выраженные различия в представлениях респондентов связаны с наличием фактического опыта профессиональной деятельности. Интересным, с нашей точки зрения, является факт более высокой оценки себя в роли врача среди ординаторов, которые не имеют опыта практической профессиональной деятельности. Более низкие оценки себя в роли врача во второй группе респондентов указывают на адекватную критику своих профессиональных навыков и умений среди начинающих специалистов. Примечательной также является выявлен-

ная закономерность схожих показателей респондентов обеих групп при анализе представлений себя в роли врача в будущем и идентификация этих представлений с образом «хорошего врача». Полученные данные свидетельствуют о выраженной личной мотивации в перспективном профессиональном становлении специалиста и уверенности в собственных способностях быть успешным при реализации своей профессиональной деятельности.

В результате анализа мотивации профессиональной деятельности было выявлено, что ведущим типом профессиональной ориентации для респондентов является тип «Человек-человек» (66% от выборки) вне зависимости от наличия опыта практической профессиональной деятельности, что является необходимым для профессии врача.

Для рассмотрения особенностей смысложизненных ориентаций и учебно-профессиональной мотивации у ординаторов дополнительной задачей являлось выявление акцентуированных черт у респондентов как важнейшей психологической основы ценностно-мотивационной сферы человека. По результатам анализа наличия акцентуированных черт ординаторов были выявлены значимые различия по показателям «Гипертимности» ($p \leq 0,01$), «Возбудимости» ($p \leq 0,05$) и «Застревания» ($p \leq 0,05$). Необходимо отметить, что в среднем уровень выраженности акцентуированных черт по всем типам акцентуации у респондентов обеих групп сравнения не превышал порога в 19 баллов. Данный результат указывает на то, что в среднем среди ординаторов не выявлены выраженные акцентуированные личности, что указывает на психическое здоровье участников исследования. Тем не менее, по некоторым показателям средние баллы по шкалам типов акцентуации превышают порог в 15 баллов, указывающий на наличие некоторых акцентуированных черт у респондентов. Сравнительный анализ показал, что в среднем среди практикующих ординаторов чаще встречаются специалисты с более выраженными гипертичными чертами, отличающиеся повышенной активностью и инициативностью в работе, высоким жизненным тонусом и позитивным фоном настроения. Также респонденты второй группы характеризуются большей эмоциональной возбудимостью и импульсивностью в своих действиях, склонностью в резкому и отчасти более агрессивному поведению в межличностном взаимодействии. Все это может негативно влиять на эффективность профессиональных действий и принимаемых решений специалистом. Связь гипертичных черт с фактическим опытом профессиональной деятельности подтверждена результатами корреляционного

анализа (0,35, $p \leq 0,05$). Дополнительно отметим, что ординаторы, совмещающие учебу с профессиональной деятельностью, чаще имеют черты застревающего типа акцентуации характера, указывающие на умеренную общительность и замкнутость, недоверчивость к людям и настороженность в межличностном общении. Данная категория специалистов чаще имеет жесткие ригидные установки и консервативные взгляды на ситуации в профессиональной деятельности, мешающие объективной оценке происходящего. Также выявлена взаимосвязь выраженности черт застревающего типа акцентуации характера и возбудимости с более низким уровнем удовлетворенности процессом обучения в ординатуре (-0,32, $p \leq 0,05$).

При анализе учебно-профессиональной мотивации ординаторов в группах сравнения не было выявлено значимых различий в определении ведущего мотива респондентов ($p > 0,05$). Вне зависимости от наличия практического опыта профессиональной деятельности ведущим мотивом учебной мотивации в ординатуре респонденты выделили мотив получения глубоких профессиональных знаний (60% от общей выборки). Заметим, что дополнительными мотивами учебно-профессиональной деятельности являлись позиция долженствования («это мой профессиональный долг» – 26% от общей выборки) и желание стать хорошим преподавателем в медицинском учреждении высшего образования в будущем (15% от общей выборки). Также участникам исследования было предложено обозначить собственный мотив учебно-профессиональной деятельности. Всего 21% респондентов указали, что выбрали свою учебу в ординатуре потому, что «просто нравится моя специальность», «необходимо для дальнейшего карьерного роста» и «важно для более высокой оплаты труда».

По результатам анализа смысложизненных ориентации ординаторов не было выявлено значимых различий между респондентами в связи с наличием практического опыта профессиональной деятельности ($p > 0,05$). Тем не менее, важное исследовательское значение имеет сравнение средних показателей смысложизненных ориентаций участников исследования с нормативными показателями, полученными Е.А. Петровой и А.А. Шестаковой [11]. Таким образом, общий уровень осмысленности жизни ниже средненормативного значения ($104,06 \pm 19,04$ балла при нормативном значении 120,36 баллов).

Полученные данные могут быть характерны для начинающих специалистов на этапе своего профессионального становления, ощущающих сложности в определении общих целей и перспектив своего жизненно-профессионального пути. Данные выводы также подтверждают ре-

зультаты всех других шкал методики, по которым средние значения ниже средненормативных.

Наиболее выраженная разница в средних значениях между показателями выборки и средненормативными значениями была выявлена по показателю «Процесса жизни» ($30,27 \pm 6,9$ баллов при нормативном значении 35,95), что может указывать на более низкое восприятие ординаторов процесса своей жизни, как интересного, эмоционально насыщенного и наполненного смыслом. Полученные результаты указывают на важные компоненты качества жизни специалиста системы здравоохранения, которые необходимо учитывать для профилактики синдрома профессионального эмоционального выгорания.

При анализе результатов методики выявления жизненных ценностей установлено, что среди ординаторов существуют различия в стремлении саморазвития и самосовершенствования ($p \leq 0,05$) в зависимости от наличия практического опыта испытуемых. Ординаторы, совмещающие учебу и работу, в большей степени обладают стремлением получать объективную информацию о собственных способностях и характеристиках личности для самосовершенствования. Повышенные требования к себе и своим профессиональным умениям может также формировать потребность совмещения учебы в ординатуре с профессиональной деятельностью. По другим показателям жизненных ценностей значимых различий в группах сравнения выявлено не было ($p > 0,05$).

Необходимо отметить, что весьма значим анализ результатов социальной одобряемости по шкале достоверности для интерпретации достоверности ответов респондентов и их ориентированности на формирование ответов, исходя из собственной системы жизненных ценностей, а не исключительно одобряемых обществом. Средний уровень показателей по шкале достоверности $8,3 \pm 4$ баллов указывает на достаточный уровень достоверности ответов респондентов. При анализе средних показателей по шкалам жизненных ценностей ординаторов можно отметить тенденцию к более низким значениям в соответствии со средненормативными значениями [15]. По данным авторов методики, данная закономерность может указывать на неопределенную направленность личности респондентов без выраженного предпочитаемого целеполагания.

При сравнении двух объединенных групп жизненных ценностей более высокие оценки респондентов выявлены в группе эгоистически-престижных (прагматических) жизненных ценностей в сравнении с группой духовно-нравственных ($78,5$ и $81,6$ баллов соответственно). Несмотря на

небольшую разницу данных значений, полученный результат важен для интерпретации мотивации учебно-профессиональной деятельности ординаторов. Так более значимым для ординаторов являются профессиональный престиж и достижения, материальное положение, стремление к сохранению индивидуальности, что, в свою очередь, отражают эгоистически-престижную направленность личности молодых врачей.

В среднем наиболее низкую оценку получила такая жизненная ценность как креативность ($17,5 \pm 5,7$ баллов), что указывает на более низкое проявление творческих наклонностей и стереотипность деятельности респондентов. Стремление следовать устоявшимся нормам и ценностям, сохранять традиции и следовать регламентированным алгоритмам, в целом, соотносимо с критериями успешной профессиональной деятельности специалиста в системе здравоохранения. В среднем наиболее высокую оценку получила прагматичная жизненная ценность – материальное положение ($23,2 \pm 4,3$ балла), что указывает на стремление респондентов к более высокому уровню своего материального благосостояния. Респондентам присуща убежденность в том, что материальный достаток является главным условием жизненного благополучия. С точки зрения авторов методики, высокий уровень материального благосостояния для таких людей часто оказывается основанием для развития чувства собственной значимости и повышенной самооценки. Высокое значение данной жизненной ценности может являться фактором профессионального эмоционального выгорания ординаторов на фоне неудовлетворенности неизбежно низкой оплаты труда в период начала профессиональной деятельности. Была также выявлена высокая значимость сфер профессиональной деятельности и образования для подавляющего большинства респондентов ($60,1$ и $60,5$ баллов соответственно), что определяет содержание жизненных ценностей участников исследования, их стремление к расширению своих знаний и умений. Полученные данные также подтверждают высокую личную мотивацию учебно-профессиональной деятельности ординаторов [8].

Анализ взаимосвязей личностных особенностей и жизненных ценностей ординаторов с мотивацией учебно-профессиональной деятельности показал связь акцентуированных черт личности (возбудимость и замещение) ординаторов, совмещающих учебу и работу, с их жизненными ориентациями на результативность и удовлетворенность самореализацией ($0,27$ и $0,32$, $p \leq 0,05$). Также были выявлены взаимосвязи ведущего мотива ординаторов – получить глубокие профессиональные знания с высоким уровнем осмысленности жизни ($0,35$, $p \leq 0,05$). В случае стремления

ординаторов стать хорошим преподавателем данный показатель был взаимосвязан с высоким «локусом-контроля Я» (0,31, $p \leq 0,05$), что определяло отношение респондентов к себе, как к сильной личности, которая способна передать имеющиеся знания, обладающей достаточной свободой выбора, чтобы построить свою жизнь в соответствии со своими целями и задачами. У этих ординаторов высокий «локус контроля Я» также находился в положительной взаимосвязи с их наиболее выраженной жизненной ценностью – высоким материальным положением (0,28, $p \leq 0,05$).

Заключение

Результаты исследования позволили сформировать представление о взаимосвязи смысложизненных ориентаций и учебно-профессиональной мотивации ординаторов с разным уровнем профессионального опыта.

Установлено, что начинающие специалисты ощущают значительные сложности в определении целей, перспектив как жизненного, так и профессионального пути, и это является основанием для обучения врачей целеполаганию, проведения своевременной профилактики синдрома профессионального эмоционального выгорания.

Ординаторы, совмещающие учебно-познавательную деятельность и медицинскую практику, в значительной степени желают получать объективную информацию о собственных способностях и характеристиках личности для самосовершенствования, что свидетельствует о необходимости разработки и внедрения в образовательную программу ординатуры элективного курса по психологии.

Полученные результаты выступают основанием для усиления аксиологической составляющей как основы этико-деонтологической культуры врачей и использования способов обучения, развивающих их рефлексивные способности и критическое мышление [19], [20].

Проведенное исследование, безусловно, характеризуется прикладной направленностью, опирающейся на совокупность педагогических идей, наиболее важных для личностного роста и развития, а также для формирования психологической готовности к профессиональной деятельности в процессе получения медицинского образования на этапе обучения в ординатуре.

Список литературы

1. Веригин М.А., Запорожцева Д.А. Смысложизненные ориентации в структуре эго-идентичности студентов медицинского вуза // Молодежь XXI века: образование, наука, инновации: материалы VIII Всероссийской студенче-

- ской научно-практической конференции с международным участием. (Новосибирск, 4-6 декабря 2019 г.). Новосибирск, 2019. С. 20-22.
2. Кагермазова Л.Ц., Масаева З.В., Абакумова И.В. Диалог как дидактическая инициация смыслообразования учащихся в практике образовательного процесса // Проблемы современного педагогического образования. 2020. № 68 (3). С. 324-328.
 3. Каунова Н.Г. Особенности личностного самоопределения старших школьников: Автореф. дис. ... канд. психол. наук. М., 2006. 28 с. https://new-disser.ru/_avtoreferats/01002978771.pdf (дата обращения: 05.07.2019).
 4. Концепция развития системы здравоохранения в Российской Федерации до 2020 г. // Федеральная служба государственной статистики (РОССТАТ). Россия в цифрах 2018. <http://www.protown.ru/information/doc/4293.html> (дата обращения: 05.07.2019).
 5. Кропачева М.Л. Профессиональная этико-деонтологическая культура врачей и ее формирование в медицинском вузе // Педагогика и психология в 21 веке: современное состояние и тенденции исследования: тезисы докл. Всерос. научно-практической конф. с заочным участием. (Киров, 23-24 декабря 2013 г.). Киров, 2014. С. 97-102.
 6. Кузнецова Л.Э., Кибалова Ю.Ю. Взаимосвязь смысложизненных ориентаций и уровня самоактуализации личности студентов // Молодой ученый. 2017. № 8 (142). С. 281-284. <https://moluch.ru/archive/142/39927/> (дата обращения: 05.07.2019).
 7. Магазева Е.А. Смысложизненные ориентации как личностные детерминанты выбора врачебной специализации выпускниками медицинского вуза // Омский научный вестник. 2014. № 2. С. 126-129.
 8. Макарова М.Н., Коротких М.А. Взаимосвязь учебной мотивации студентов с их академическими характеристиками и ценностными ориентациями // Вестник Удмуртского университета. 2018. Т. 1, № 3. С. 294-301.
 9. Малыгина А.П. Смысложизненные ориентации в разных жизненных ситуациях у молодежи: Автореферат дис. ...канд. психол. наук. СПб., 2015. 26 с. <https://search.rsl.ru/ru/record/01005567403> (дата обращения: 04.09.2022).
 10. Митина Л.М. Смысложизненные ориентации субъектов образования в условиях радикальных социокультурных и технологических перемен // Психологические проблемы смысла жизни и акме: Электронный сборник материалов XXVI Международного симпозиума. 2021. С. 108-112. <https://www.pirao.ru/images/labs/gporl/XXVI-simpozium.pdf> (дата обращения: 04.09.2022).

References

1. Verigin M.A., Zaporozhtseva D.A. Smyslozhiznennyye orientatsii v strukture ego-identichnosti studentov meditsinskogo vuza [Meaningful Life Orientations in the Structure of Ego-Identity of Medical Students]. *Molodezh' XXI veka: obrazovanie, nauka, innovatsii: materialy VIII Vserossiyskoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. (Novosibirsk, December 4-6, 2019). Novosibirsk, 2019. pp. 20-22.
2. Kagermazova L.Ts., Masaeva Z.V., Abakumova I.V. Dialog kak didakticheskaya initsiatsiya smysloobrazovaniya uchaschchikhsya v praktike obrazovatel'nogo protsesssa [Dialogue as a didactic initiation of meaning-formation of students in the practice of the educational process]. *Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya*, 2020, no. 68 (3). pp. 324-328.
3. Kaunova N.G. *Osobennosti lichnostnogo samoopredeleniya starshikh shkol'nikov* [Features of personal self-determination of senior students]. Abstract of PhD dissertation. Moscow, 2006, 28 p. https://new-dissert.ru/_avtoreferats/01002978771.pdf. (accessed July 7, 2019).
4. *Kontseptsiya razvitiya sistemy zdravookhraneniya v Rossiyskoy Federatsii do 2020 g.* [Concept for the development of the healthcare system in the Russian Federation until 2020]. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki (ROSS-TAT). Rossiya v tsifrakh 2018. <http://www.protown.ru/information/doc/4293.html> (accessed July 5, 2019).
5. Kropacheva M.L. Professional'naya etiko-deontologicheskaya kul'tura vrachev i ee formirovanie v meditsinskom vuze [Professional ethical and deontological culture of doctors and its formation in a medical university]. *Pedagogika i psikhologiya v 21 veke: sovremennoe sostoyanie i tendentsii issledovaniya: tezisy dokl. Vseros. nauchno-prakticheskoy konf. s zaochnym uchastiem*. (Kirov, December 23-24, 2013). Kirov, 2014. pp. 97-102.
6. Kuznetsova L.E., Kibalova Yu.Yu. Vzaimosvyaz' smyslozhiznennykh orientatsiy i urovnya samoaktualizatsii lichnosti studentov [Interrelation of Meaningful Orientations and the Level of Self-Actualization of Students' Personality]. *Molodoy uchenyy*, 2017, no. 8 (142), pp. 281-284. <https://moluch.ru/archive/142/39927/> (accessed July 5, 2019).
7. Magazeva E.A. Smyslozhiznennyye orientatsii kak lichnostnye determinanty vybora vrachebnoy spetsializatsii vypuschnikami meditsinskogo vuza [Meaningful Life Orientations as Personal Determinants of the Choice of Medical Specialization by Medical University Graduates]. *Omskiy nauchnyy vestnik*, 2014, no. 2, pp. 126-129.
8. Makarova M.N., Korotkikh M.A. Vzaimosvyaz' uchebnoy motivatsii studentov s ikh akademicheskimi kharakteristikami i tsnostnymi orientatsiyami [The re-

- relationship of students' learning motivation with their academic characteristics and value orientations]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta*, 2018, vol. 1, no. 3, pp. 294-301.
9. Malygina A.P. *Smyslozhiznennyye orientatsii v raznykh zhiznennykh situatsiyakh u molodezhi* [Meaningful orientations in different life situations among young people]. Abstract of PhD dissertation. Saint-Petersburg, 2015, 26 p. <https://search.rsl.ru/ru/record/01005567403> (accessed September 4, 2022).
 10. Mitina L.M. Smyslozhiznennyye orientatsii sub"ektov obrazovaniya v usloviyakh radikal'nykh sotsiokul'turnykh i tekhnologicheskikh peremen [Meaningful Life Orientations of the Subjects of Education in Conditions of Radical Socio-cultural and Technological Changes]. *Psikhologicheskie problemy smysla zhizni i akme*: Elektronnyy sbornik materialov XXVI Mezhdunarodnogo simpoziuma, 2021, pp. 108-112. <https://www.pirao.ru/images/labs/gporl/XXVI-simpozium.pdf> (accessed September 4, 2022).
 11. Petrova E.A., Shestakova A.A. *Sotsial'no-psikhologicheskie osnovy assessmenta rukovoditeley bankovskikh struktur* [Socio-psychological foundations of the assessment of heads of banking structures]. Novomoskovsk: Rekom, 2002, 120 p. https://rusneb.ru/catalog/004918_000038_RU%7C%7C%7C-TOUNB%7C%7C%7Cbooks%7C%7C%7C144046/ (accessed September 4, 2022).
 12. Prokof'eva A.A., Bulychev M.A. Osobennosti vremennoy perspektivy u studentov meditsinskogo vuza s razlichnym urovnem otnosheniya k zdorov'yu [Time Perspective Features of Medical Students with Different Levels of Attitude to Health]. *Nauchnaya initsiativa v psikhologii*: Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov studentov i molodykh uchenykh, 2018, pp. 302-315. https://kpfu.ru/staff_files/F812613831/kursk_sbornik.pdf (accessed September 4, 2022).
 13. *Rossiya v tsifrakh. 2018* [Russia in numbers. 2018]: krat. stat. sb. // Rosstat, 2018, 523 p. <http://www.protown.ru/information/doc/4293.html> (accessed July 7, 2019).
 14. Cemenov D.S. Vzaimosvyaz' udovletvorennosti trudom i smyslozhiznennykh orientatsiy u vrachey i srednego meditsinskogo personala [Relationship between job satisfaction and life orientations among doctors and nurses]. *Pedagogicheskoe obrazovanie v Rossii*, 2014, no. 9. pp. 212-217.
 15. Sopov V.F., Karpushina L.V. Morfologicheskii test zhiznennykh tsennostey [Morphological test of life values]. *Prikladnaya psikhologiya*, 2001, no. 4, pp. 9-30. https://lib.uni-dubna.ru/biblweb/search/bibl.asp?doc_id=76817&full=yes (accessed September 4, 2022).

16. Sulaymanova A. I. Osobennosti smyslozhiznennykh orientatsiy studentov i ikh vzaimosvyaz' s bazovymi smyslovymi ustanovkami [Features of life-meaning orientations of students and their relationship with basic semantic attitudes]. *Nauka, obrazovanie i innovatsii: Sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Ekaterinburg, October 15, 2016)*. Ekaterinburg, 2016, pp. 206-211.
17. Florya V.I., Levitskaya S.V. O nravstvennykh prioritetakh vysshego professional'nogo obrazovaniya [On the moral priorities of higher professional education]. *Mir obrazovaniya – obrazovanie v mire*, 2015, no. 2 (58), pp. 145-152.
18. Khodusov A.N., Kononova S.A. Missiya, tsennosti i smysly vospitaniya [Mission, values and meanings of education]. *Pedagogicheskoe obrazovanie: vyzovy XXI veka: Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati akademika V.A. Slastenina. (Voronezh, September 22-23, 2016)*. Voronezh, 2016, pp. 104-108. http://cppe.nspu.ru/file.php/1/83_Sbornik_IFMIEO_s_obl.pdf (accessed September 4, 2022).
19. Ivanov D.O., Aleksandrovich Yu.S., Ditkovskaya L.V., Kulbakh O.S., Zinkevich E.R. The capacity for pedagogical reflection in lecturers of higher medical school: the survey findings. *Man in India*, 2017, vol. 97, no. 11, pp. 563-575.
20. Olteanu C. Reflection and the object of learning. *International Journal for Lesson and Learning Studies*, 2016, vol. 5, pp. 60-75. <https://doi.org/10.1108/ijlls-08-2015-0026>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Зинкевич Елена Романовна, д.п.н., доцент, профессор

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»

ул. Литовская, 2, г. Санкт-Петербург, 194000, Российская Федерация

lenazinkevich@mail.ru

Коргожа Мария Александровна, к.псих.н., доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»

ул. Литовская, 2, г. Санкт-Петербург, 194000, Российская Федерация

korgozha_m.a@mail.ru

Яцевич Наталья Анатольевна, ассистент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»

ул. Литовская, 2, г. Санкт-Петербург, 194000, Российская Федерация

nyazevich@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHORS

Elena R. Zinkevich, Doctor of Pedagogical Sciences, PhD, Professor

Sankt-Petersburg State Pediatric Medical University

2, Litovskaya Str., St. Petersburg, 194000, Russian Federation

lenazinkevich@mail.ru

SPIN-code: 6990-6164

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2630-3395>

Maria A. Korgozha, PhD

Sankt-Petersburg State Pediatric Medical University

2, Litovskaya Str., St. Petersburg, 194000, Russian Federation

korgozha_m.a@mail.ru

SPIN-сцфву: 1547-7742

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8422-1772>

Natalya A. Yatsevich, assistant

Sankt-Petersburg State Pediatric Medical University

2, Litovskaya Str., St. Petersburg, 194000, Russian Federation

nyazevich@gmail.com

Поступила 25.09.2022

После рецензирования 10.10.2022

Принята 21.10.2022

Received 25.09.2022

Revised 10.10.2022

Accepted 21.10.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-454-469

УДК 616-006.81.04



Научная статья | Клиническая иммунология

ВЛИЯНИЕ ИММУНОМОДУЛЯТОРА ГАЛАВИТ НА РАЗВИТИЕ МЕЛАНОМЫ В16 У МЫШЕЙ

*Е.М. Яценко, Д.С. Барановский, М.Д. Пронкевич, Е.В. Исаева,
А.Н. Смирнова, В.Н. Петров, С.А. Иванов, А.Д. Каприн*

В последние годы уделяется большое внимание иммунотерапии в онкологии, как перспективному методу лечения, направленному на ингибирование опухолевого роста и стимуляцию противоопухолевого иммунного ответа организма.

***Цель.** Выявить характер взаимосвязи роста и метастазирования меланомы у мышей на фоне различных схем применения препарата Галавит.*

***Материалы и методы.** В качестве экспериментальной модели использовали меланому В16-F10 на мышах-гибридах F1 (СВАхС57BL/6). Были сформированы 3 группы: контроль – животные только с перевивкой опухоли; терапия Галавитом в дозе 5 мг/мышь сразу после перевивки опухоли и терапия Галавитом через неделю после перевивки опухоли в дозе 5 мг/мышь. Оценивали интенсивность роста опухолевого узла, 50-суточную выживаемость и развитие метастазов.*

***Результаты.** В контрольной группе 50-суточная выживаемость составила 80%. При введении препарата Галавит сразу после прививки опухоли - 60%, а при введении Галавита через неделю в дозе 5 мг/мышь выживаемость была 100%. Аналогичную закономерность наблюдали и по темпам роста опухоли.*

***Заключение.** Выявлено, что терапия препаратом Галавит через неделю, после прививки опухоли статистически значимо повысила показатели 50-суточной выживаемости, подавляла рост опухоли и развитие метастазов по сравнению с группой контроля и с группой после введения Галавита сразу после прививки опухоли.*

***Ключевые слова:** мыши F1; меланома В16-F10; иммуномодулятор; Галавит; макрофаги; выживаемость; метастазы*

***Для цитирования.** Яценко Е.М., Барановский Д.С., Пронкевич М.Д., Исаева Е.В., Смирнова А.Н., Петров В.Н., Иванов С.А., Каприн А.Д. Влияние иммуномодулятора Галавит на развитие меланомы В16 у мышей // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №2. С. 454-469. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-454-469*

Original article | Clinical Immunology

EFFECTS OF THE IMMUNOMODULATOR 'GALAVIT' ON THE DEVELOPMENT OF B16 MELANOMA IN MICE

*E.M. Yatsenko, D.S. Baranovskii, M.D. Pronkevich, E.V. Isaeva,
A.N. Smirnova, V.N. Petrov, S.A. Ivanov, A.D. Kaprin*

In recent years, major attention has been devoted to immunotherapy in oncology. Immunotherapy is a promising treatment approach targeted to inhibit tumor growth via stimulating the body's antitumor immune response.

Purpose. *The study was aimed to investigate the relationship between melanoma growth and metastasis in mice with the various schemes of Galavit treatment.*

Materials and methods. *We used B16-F10 melanoma in F1-mouse as an experimental model. We divided animals in 3 groups: control (no therapy after tumor transplantation); immediate Galavit therapy at a dose of 5 mg/mouse after tumor transplantation; postponed Galavit therapy a week after tumor transplantation at doses of 5mg/mouse. We evaluated the rate of tumor node growth, 50-day survival rate and metastatic development after the 50th day follow-up period.*

Results. *We revealed 80% survival rate for 50-day observation period in the control group. Interestingly, the 50-day survival rate was 60% for the animals treated with Galavit immediately after tumor inoculation. In other group with postponed Galavit therapy, survival rate was 100 %. A similar pattern was observed for tumor growth rates.*

Conclusion. *We found that therapy with Galavit a week after tumor inoculation significantly increased the 50-day survival rate, suppressed tumor growth and the development of metastases in comparison with the control group and the group with immediate Galavit administration.*

Keywords: *F1-mouse; B16-F10 melanoma; immunomodulatory; Galavit; macrophages; survival rate; metastases*

For citation. *Yatsenko E.M., Baranovskii D.S., Pronkevich M.D., Isaeva E.V., Smirnova A.N., Petrov V.N., Ivanov S.A., Kaprin A.D. Effects of the Immunomodulator 'Galavit' on the Development of B16 Melanoma in Mice. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 454-469. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-454-469*

Введение

За последнее десятилетие исследования в области молекулярной клеточной биологии и иммунологии опухолей дали важную информацию о компонентах, сигнальных каскадах в опухолевом микроокружении, опосредующих про- или противоопухолевые эффекты [2, 12, 15, 19-23]. В процессе возникновения и роста опухоли речь, по-видимому, может идти о взаимодействии двух систем: гетерогенной, быстро меняющейся популяции опухолевых клеток и ряда субпопуляций эффекторных клеток естественного и адаптивного иммунитета, в том числе макрофагов. Одним из механизмов макрофагов является фагоцитоз с адсорбцией, поглощением и деструкцией патогенного материала. Цитостатические и цитотоксические свойства фагоцитов, закрепленные функционально и эволюционно, определяются их уровнем функциональной активности, в том числе уровнем продукции различных медиаторов: активных форм кислорода, интерферонов, интерлейкинов, цитокинов, лизосомальных ферментов и т.д. Интерлейкины способны стимулировать клеточную миграцию, принимая участие в управлении процессами альтерации и регенерации тканей [6]. Накопление этих продуктов в зоне контакта эффекторных и опухолевых клеток в опухолевом микроокружении является одним из основных противоопухолевых цитотоксических эффектов [2, 12, 15]. В 2001 году Mills C.D. и соавт. была предложена классификация макрофагов по двум фенотипам: M1 (провоспалительный, противоопухолевый) и M2-фенотипы (противовоспалительный, проопухолевый), тем самым авторы хотели подчеркнуть, что макрофаги, а не Т-клетки, являются ядром иммунной системы [22]. В то же время, разные типы адаптивных ответов: Th1- или Th2, в свою очередь, могут повышать или ингибировать ответы макрофагов M1- или M2-фенотипов. Мы в своих воззрениях основываемся на выдвинутой Mills C.D. и соавт. концепции о M1- и M2-фенотипах макрофагов. Эта концепция в корне изменила наше понимание того, что такое иммунитет, показав биохимические основы уникальных особенностей макрофагов убивать или же стимулировать рост и развитие опухоли [19-22].

С учетом имеющихся сведений способности воздействовать на функционально-метаболическую активность фагоцитарных клеток (моноцитов/макрофагов, нейтрофилов, естественных киллеров), которые являются важным звеном естественной резистентности и иммунорегуляции организма при микробной и опухолевой инвазии, нами был выбран препарат **Галавит**. Данный препарат снижает выработку гиперактивированными макрофагами активных форм кислорода, тем самым снижая уровень оксидантного стресса и защищая ткани и органы от разрушительного воздействия радикалов [1]. Кроме того, он нормализует антителообразование, повышает функциональную активность антител, опосредованно регулирует

ет выработку эндогенных интерферонов (ИФН- α , ИФН- γ) клетками продуцентами, так же он обладает выраженными противовоспалительными, иммуномодулирующими и антиоксидантными свойствами [1, 3, 7, 10]. Выявлена зависимость от дозы Галавита стимуляция продуцирующей активные радикалы кислорода активности мононуклеаров. Предполагается, что Галавит в дозах 2-500 мг/кг может способствовать усилению неспецифической резистентности организма к опухолевой и бактериальной инвазии [9].

Отмечено, что применение Галавита в комплексной терапии у больных местно-распространенным раком прямой кишки способствует не только нормализации иммунного статуса, но и при исследовании опухоль прямой кишки уменьшилась в объеме до трети от исходного [5].

Все это в конечном итоге вполне оправдывает наши исследования модифицирующих воздействий Галавита на рост и метастазирование меланомы у мышей на фоне различных схем применения. Новый взгляд на природу рака может привести к новому пониманию процессов его роста, метастазирования и возможно к новым подходам к лечению или новым мишеням для лекарственных препаратов.

Материалы и методы

Исследование было проведено в соответствии с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации [13]. В эксперименте использованы мыши-гибриды F1 (СВАхС57BL/6), которые содержались в стандартных пластиковых клетках на стандартном пищевом рационе. Все манипуляции с мышами выполняли в соответствии с требованиями нормативно – правовых актов о порядке экспериментальной работы и гуманном отношении к животным [14]. Культура клеток В16-F10 была предоставлена ГУЗ «Московский НИИ медицинской экологии». Клетки культивировали в среде RPMI-1640 («ПанЭко», Россия) с добавлением 10% инактивированной эмбриональной телячьей сыворотки («Biosera», Франция); 0,01 мг/мл гентамицина («ПанЭко», Россия) [8]. Ex vivo экспансированные клетки меланомы В16-F10 прививали мышам согласно стандартному протоколу: введение подкожно с двух сторон от позвоночника в две точки, по 1×10^6 клеток /точку, соответственно по 2×10^6 клеток/мышь в 100 мкл физиологического раствора [26]. После прививки опухоли были сформированы следующие 3 группы по 10 мышей в каждой:

1 группа – контроль, только прививка опухоли, без лечения;

2 группа – **сразу** после прививки опухоли и далее два раза в неделю внутривнутрибрюшинное введение иммуномодулятора Галавит 5 мг/мышь (курс 10 инъекций);

3 группа – **через 7 суток** после прививки опухоли и далее два раза в неделю внутривентральное введение иммуномодулятора Галавит 5мг/мышь (курс 10 инъекций);

Оценивали объем опухоли на 10, 20, 30, 40 и 50 сутки по формуле (отношение длины опухоли в квадрате к ширине), 50-суточную выживаемость животных и развитие метастазов. Эвтаназия животных проводилась с использованием метода, который соответствует принципам, изложенным в Рекомендациях комиссии по эвтаназии экспериментальных животных, передозировкой барбитуратами [24].

Результаты оценивали по χ^2 (хи-квадрат) – критерию, а достоверность различий оценивали по t-критерию Стьюдента для множественных сравнений с введением поправки Бонферрони [4].

Результаты и обсуждение

Влияние терапии препаратом Галавит на выживаемость мышей-опухоленосителей представлено на (Рис. 1).

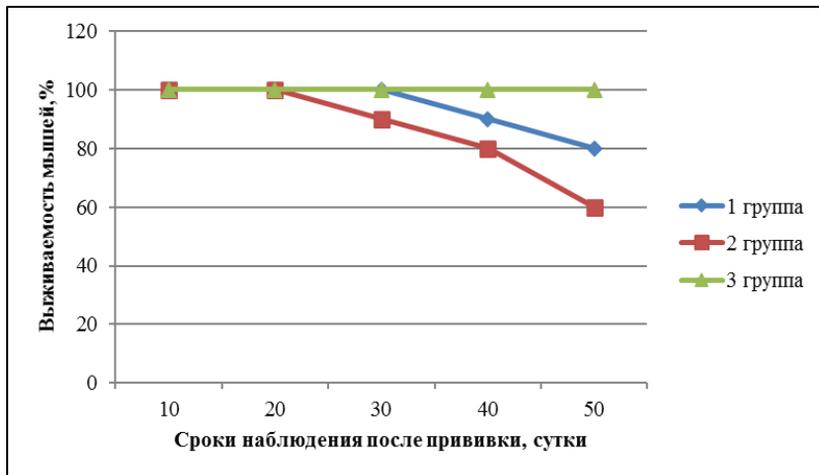


Рис. 1. Влияние терапии препаратом Галавит на выживаемость мышей опухоленосителей.

Примечания: оси абсцисс – сроки наблюдения с момента прививки опухолевых клеток V16- F10; по оси ординат – выживаемость мышей в процентах.

Установлено, в 1 группе – контроль (без лечения) выживаемость на 50-е сутки составила 80%, во 2 группе, с применением Галавита сразу после

прививки опухоли, происходит постепенное увеличение смертности мышей начиная с 30 суток и к 50 суткам выживаемость составила 60%, а в 3 группе при отсроченной терапии препаратом Галавит в дозе 5 мг/мышь регистрировали 100% выживаемость мышей.

Таким образом, отсроченная на одну неделю с момента прививки опухоли терапия препаратом Галавит повысила показатели 50-суточной выживаемости по сравнению с группой контроля и тем более с группой терапии препаратом Галавит сразу с момента прививки опухоли (т.е. группы 1 и 2 соответственно).

Данные исследований динамики темпов роста опухоли в местах подкожной прививки сингенных клеток меланомы B16-F10 у мышей F1 на фоне терапии препаратом Галавит представлены на рис. 2.

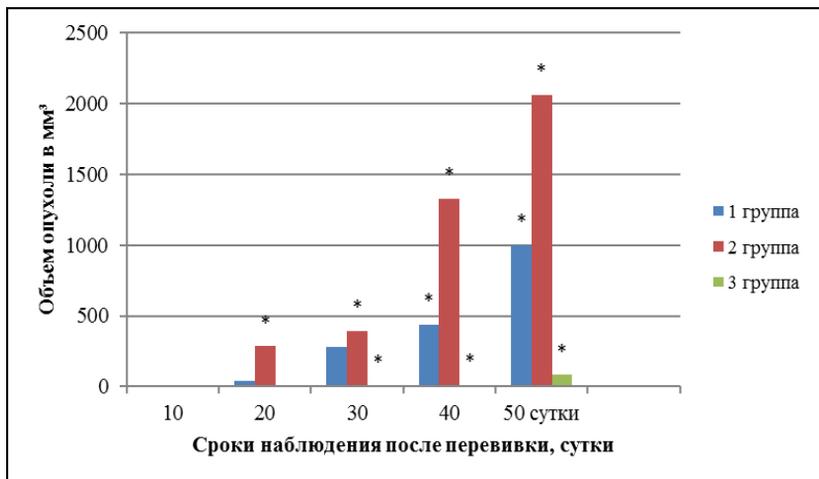


Рис. 2. Влияние препарата Галавит на темпы роста опухоли B16-F10 у мышей.

Примечания: по оси абсцисс – сроки наблюдения в сутках с момента прививки опухолевых клеток B16-F10; по оси ординат – средние значения размеров опухолевых узлов в мм³.

В 1 группе (контроль) опухолевые узлы начинали явно выявляться с 20- суток, достигая максимальных размеров 998 мм³ к 50-м суткам. У всех восьми выживших к 50-м суткам мышей 1 группы на местах подкожного введения клеток B16-F10 были выявлены опухолевые узлы разного размера.

При вскрытии животных, отмечено, что у пяти из восьми выживших мышей при визуальном осмотре органов грудной и брюшной полостей

имелись множественные метастатические узлы разных размеров (от размеров зерен проса до размеров сердца мышей). У 4-х мышей локализация метастазов у корня легких и в средостении, а у одной мышкы – опухолевый узел с локализацией в районе мочевого пузыря. Метастазов иной локализации мы не обнаружили.

Во 2 группе при терапии препаратом Галавит сразу с момента прививки опухолевых клеток (кривая 2 на Рис.2) отмечали наиболее высокие темпы роста опухоли на все сроки наблюдения. На 20 сутки объем опухоли в 6 раз превышал размеры опухоли в контрольной группе (соответственно 285мм^3 против 44мм^3), достигая максимальных размеров к 50 суткам до 2060мм^3 , что в 2 раза превышало объем опухоли в 1 группе (988мм^3) и в 25 раз в 3 группе (82мм^3). У 6 выживших к 50-ым суткам мышей 2 группы на местах прививки клеток В16 -F10 были выявлены опухолевые узлы разного размера, однако при вскрытии во внутренних органах грудной и брюшной полостях отдаленных метастатических узлов в данной группе не было выявлено.

В 3 группе темпы роста опухоли, при отсроченной на неделю терапии препаратом Галавит в дозе 5 мг/кг 2 раза в неделю (кривая 3 на Рис. 2) были значительно ниже по сравнению с 1 и 2 группами и составили на 50 сутки 82мм^3 . Только у 4 из 10 мышей 3 группы были опухоли на местах прививки клеток В16- F10. При вскрытии на 50 сутки в данной группе лишь у одной из десяти выживших были множественные метастазы различного размера в легких и средостении.

Таким образом, отсроченная на неделю с момента прививки опухоли терапия препаратом Галавит в дозе 5 мг/мышь замедляла рост опухоли и снижала развитие отдаленных метастазов, что возможно связано с пластичностью макрофагов. Пластичность - это понятие/термин, который предложил в 2001 году Mills C.D. для описания уникальной способности макрофагов изменять свои функции. Макрофаги M2-типа внутри опухоли способствуют росту опухоли, а при этом рост опухоли ингибируется M1-типом макрофагов [22]. Следовательно, при развитии опухоли у человека, целесообразно стимулировать переполяризацию внутриопухолевого M2-фенотипа на M1-фенотип макрофагов. В исследованиях *in vitro* проведена оценка влияния Галавита на хемиллюминесцентную активность мононуклеаров и гранулоцитов периферической крови онкологических и неонкологических пациентов, обнаружено, что у больных с распространенными формами опухолей (Т3-Т4, N1-N3) активность превышала значения показателя при ранних стадиях заболевания (Т1-Т2, N0) и значения

критерия неонкологических больных. Последнее свидетельствует об активированном статусе мононуклеаров крови онкологических больных [11], что, опосредованно, согласуется с полученными в нашем исследовании результатами. Понятие M1 / M2-фенотипов не только выдержало испытание временем, но сотни публикаций указывают на то, что интерес к макрофагам (врожденному иммунитету) и их клинической значимости постоянно растет. Естественно, функция макрофагов в организме неразрывно взаимосвязана с другими клетками врожденного (нейтрофилы, ДС, НК и т.д.) и приобретенного иммунитета [23].

Важно отметить, что макрофаги в микроокружении опухоли не ограничиваются состояниями M1 или M2; они могут находиться за пределами этого спектра фенотипов [16-18]. Показано, что M2 макрофаги подразделяются на подтипы: M2a, M2b, M2cbM2d [18; 25]. Макрофаги M2c участвуют в восстановлении тканей и ремоделировании матрикса, секретируют значительные количества IL-10 и TGF- β , а макрофаги M2d способствуют индукции роста опухоли и увеличению выживаемости опухолевых клеток. Истощение всех популяций макрофагов, независимо от состояния их поляризации, стало потенциальным терапевтическим вариантом, поскольку в этом случае наблюдается значительное снижение как первичного, так и метастатического онкогенеза. Однако, как показано далее в этих обзорах, данная стратегия не нашла широкого клинического применения без сочетания с другими иммунологическими подходами. С другой стороны, макрофаги, независимо от состояния поляризации, сохраняют способность к пластичности, включая способность переключаться между фенотипами в зависимости от сигналов микроокружения. По-видимому, усиление иммуномодулятором Галавит функциональной активности макрофагов за счет их поляризации в M1-фенотип и возможно реполяризации нейтрофилов в N1-фенотип, мезенхимальных стромальных клеток в провоспалительный / противоопухолевый фенотипы в микроокружении опухоли оказали благотворное влияние по критериям снижения темпов роста опухоли и улучшения исходов заболевания при терапии Галавитом через неделю. Так, в исследовании при метастатическом раке молочной железы и немелкоклеточном раке легкого III- стадии при применении Галавита со стороны фагоцитарного звена иммунитета выявлена явная тенденция к росту фагоцитарной активности нейтрофилов и фагоцитарного числа. Показатели естественных киллеров (CD 16+) оставались в пределах нормальных, что подчеркивает избирательность действия Галавита только в случае их недостаточности [7].

По-нашему мнению, такой подход в иммунотерапии онкологических больных с модификацией функциональной активности макрофагов и других клеток врожденного иммунитета требует к себе пристального внимания и дальнейшего экспериментального исследования.

Заключение комитета по этике. Исследование было проведено в соответствии с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации [13].

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Барышникова М.А., Ахматова Н.К., Карамзин А.М. Иммуномодулирующая активность сублингвальной формы Галавита // Российский биотерапевтический журнал. 2007. №2. С. 55-58.
2. Бережная Н.М. Роль клеток системы иммунитета в микроокружении опухоли. I. Клетки и цитокины — участники воспаления // Онкология. 2009. Т.11. № 1. С. 6-17.
3. Галавит в эксперименте и клинике / Под ред. Абидова М.Т. М.: 1999. 120 с.
4. Гланц С. Медико-биологическая статистика [Пер. с англ.]. М.: Практика, 1999. С. 104-121.
5. Динамика некоторых показателей клеточного иммунитета у больных колоректальным раком в комплексном лечении иммуномодуляторами и антиоксидантами / Кит О.И., Набатова О.С., Златник Е.Ю., Павленко С.Г., Нистратова О.В. // Фундаментальные исследования. 2014. №7 (часть 2). С. 286-289.
6. Интерлейкин IL-1 β стимулирует ревитализацию хрящевого матрикса назальными хондроцитами человека *in vitro* / Барановский Д.С., Люндуп А.В., Балясин М.В., Клабуков, И.Д., Красильникова О.А., Крашенинников М.Е., Паршин В.Д. // Вестник трансплантологии и искусственных органов. 2020. Т. 21. №4. С. 88-95.
7. Роль иммуномодулятора Галавит в онкологической и хирургической практике / Коробкова Л.И., Вельшер Л.З., Германов А.Б., Гришина Т.И., Станулис А.И., Генс Г.П., Шепелев Д.О., Израйлов Р.Е. // Российский биотерапевтический журнал. 2004. Т.3. №3. С. 87-92.
8. *In vivo* эффекты костно-мозговых мезенхимальных стромальных клеток человека на развитие экспериментальной модели меланомы В16 у мышей / Петров В.Н., Исаева Е.В., Ульяненко С.Е., Бекетов Е.Е., Яценко Е.М., Са-

- япина Е.В., Лепехина Л.А., Наседкина Н.В., Гривцова Л.Ю., Каприн А.Д. // Клеточные технологии в биологии и медицине. 2019. № 4. С. 248-252.
9. Влияние галавита на уровень хемилюминесцентной активности мононуклеаров и гранулоцитов онкологических больных / Петров В.Н., Цыб А.Ф., Каплан М.А., Медведева З.Г. // Международный медицинский журнал. 2001. №5. С. 417-420.
 10. Прилепская В.Н., Бебнева Т.Н. Эффективность иммуномодулятора Галавита в лечении воспалительных заболеваний органов малого таза // Русский медицинский журнал. Мать и дитя. 2013. Т.21. №1. С. 31-38.
 11. In vivo и in vitro индуцируемые эффекты галавита на хемилюминесцентную активность мононуклеаров крови онкологических и не онкологических больных / Цыб А.Ф., Каплан М.А., Петров В.Н., Крикунова Л.И., Медведев В.Н., Смирнова И.А. // Российский биотерапевтический журнал. 2005. Т.4. № 4. С. 44-49.
 12. Bukovski A. Mesenchymal Cells in Tissue Homeostasis and Cancer // Mod Asp Immunobiol. 2000. Vol. 1. No. 2. P. 43-47.
 13. Council of Europe. European conventions of the protection of vertebrate animals used for experimental and other scientific purpose Strasbourg, 18.03.1986. <http://www.worldlii.org/int/other/treaties/COETSER/1986/1.html>
 14. Euroguide on the accommodation and care of animals used for experimental and other scientific purposes. London: FELASA, 2007.
 15. Fidler I.J., Kim S.J., Langley R.R. The role of the organ microenvironment in the biology and therapy of cancer metastasis // J Cell Biochem, 2007. Vol. 101. No. 4. P. 927-936.
 16. Galon & Bruni D. Approaches to treat immune hot, altered and cold tumours with combination immunotherapies // Nature Reviews, Drug Discovery, 2019. Vol. 18. P. 197-218. <https://doi.org/10.1038/s41573-018-007-y>
 17. Kudlik G., Hegyi B., Czibula A., Monostrory E., Buday L., Uher F. Mesenchymal stem cells promote macrophage polarization toward M2b-like cells // Exp. Cell Res., 2016. Vol. 348. No. 1. P. 36-45. <https://doi.org/10.1016/j.yexcr.2016.08.022>
 18. Lu J., Cao Q., Zheng D., Suh Y., Wang C., Yu X., Wang Y., Lee V.W., Zheng G., Tan T.K., Wang X. Discrete functions of M2a and M2c macrophage subsets determine their relative efficacy in treating chronic kidney disease // Kidney Int. 2013. Vol. 84. P. 745-755.
 19. Mills C.D. M1 and M2 Macrophages: Oracles of Health and Disease // Crit Rev Immunol. 2012. Vol. 32. No. 6. P. 463-488.
 20. Mills C.D., Ley K. M1 and M2 macrophages: the chicken and the egg of immunity // J. Innate Immun. 2014. Vol. 6. No. 6. P. 716-726. <https://doi.org/10.1159/000364945>

21. Mills C.D. Anatomy of a discovery: m1 and m2 macrophages // *Front Immunol.* 2015. Vol. 5. No. 6. P. 212-212. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2015.00212>
22. Mills C.D., Lenz L.L., Harris R.A. A Breakthrough: Macrophage-Directed Cancer Immunotherapy // *Cancer Res.* 2016. Vol. 76. No. 3. P. 513-516. <https://doi.org/10.1158/0008-5472.CAN-15-1737>
23. Mills C.D. Macrophage arginine metabolism to ornithine/urea or nitric oxide/citruline: a life or death issue // *Crit Rev Immunol.* 2001. Vol. 21. P. 399-425. <https://doi.org/10.1615/CritRevImmunol.v21.i5.10>
24. Recommendations for euthanasia experimental animals: Part 1. Part 2. // *Laboratory Animals.* 1996. Vol. 30. P. 293-316, 1997, Vol. 31. P. 1-32.
25. Rhee I. Diverse macrophages polarization in tumor microenvironment // *Arch. Pharm. Res.* 2016. Vol. 39. P. 1588-1596. <https://doi.org/10.1007/s12272-016-0820-y>

References

1. Baryshnikova M.A., Akhmatova N.K., Karamzin A.M. *Rossiyskiy bioterapevticheskiy zhurnal*, 2007, no. 2, pp. 55-58.
2. Berezhnaya N.M. *Onkologiya*, 2009, vol. 11, no. 1, pp. 6-17.
3. *Galavit v eksperimente i klinike* [Galavit in experiment and clinic] / ed. Abidov M.T. M., 1999, 120 p.
4. Glants S. *Mediko-biologicheskaya statistika* [Medico-biological statistics]. M.: Praktika, 1999, pp. 104-121.
5. Kit O.I., Nabatova O.S., Zlatnik E.Yu., Pavlenko S.G., Nistratova O.V. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2014, no. 7, part 2, pp. 286-289.
6. Baranovskiy D.S., Lyundup A.V., Balyasin M.V., Klabukov, I.D., Krasil'nikova O.A., Krashenninnikov M.E., Parshin V.D. *Vestnik transplantologii i iskusstvennykh organov*, 2020, vol. 21, no. 4, pp. 88-95.
7. Korobkova L.I., Vel'sher L.Z., Germanov A.B., Grishina T.I., Stanulis A.I., Gens G.P., Shepelev D.O., Izrailov R.E. *Rossiyskiy bioterapevticheskiy zhurnal*, 2004, vol. 3, no. 3, pp. 87-92.
8. Petrov V.N., Isaeva E.V., Ul'yanenko S.E., Beketov E.E., Yatsenko E.M., Sayapina E.V., Lepekhina L.A., Nasedkina N.V., Grivtsova L.Yu., Kaprin A.D. *Kletochnye tekhnologii v biologii i meditsine*, 2019, no. 4, pp. 248-252.
9. Petrov V.N., Tsyb A.F., Kaplan M.A., Medvedeva Z.G. *Mezhdunarodnyy meditsinskiy zhurnal*, 2001, no. 5, pp. 417-420.
10. Prilepskaya V.N., Bebnava T.N. *Russkiy meditsinskiy zhurnal. Mat' i ditya*, 2013, vol. 21, no. 1, pp. 31-38.

11. Tsyb A.F., Kaplan M.A., Petrov V.N., Krikunova L.I., Medvedev V.N., Smirnova I.A. *Rossiyskiy bioterapevticheskiy zhurnal*, 2005, vol. 4, no. 4, pp. 44-49.
12. Bukovski A. Mesenchymal Cells in Tissue Homeostasis and Cancer. *Mod Asp Immunobiol*, 2000, vol. 1, no. 2, pp. 43-47.
13. Council of Europe. European conventions of the protection of vertebrate animals used for experimental and other scientific purpose Strasbourg, 18.03.1986. <http://www.worldlii.org/int/other/treaties/COETSER/1986/1.html>
14. Euroguide on the accommodation and care of animals used for experimental and other scientific purposes. London: FELASA, 2007.
15. Fidler I.J., Kim S.J., Langley R.R. The role of the organ microenvironment in the biology and therapy of cancer metastasis. *J Cell Biochem*, 2007, vol. 101, no. 4, pp. 927-936.
16. Galon & Bruni D. Approaches to treat immune hot, altered and cold tumours with combination immunotherapies. *Nature Reviews, Drug Discovery*, 2019, vol. 18, pp. 197-218. <https://doi.org/10.1038/s41573-018-007-y>
17. Kudlik G., Hegyi B., Czibula A., Monostrory E., Buday L., Uher F. Mesenchymal stem cells promote, macrophage polarization toward M2b-like cells. *Exp. Cell Res.*, 2016, vol. 348, no. 1, pp. 36-45. <https://doi.org/10.1016/j.yexcr.2016.08.022>
18. Lu J., Cao Q., Zheng D., Suh Y., Wang C., Yu X., Wang Y., Lee V.W., Zheng G., Tan T.K., Wang X. Discrete functions of M2a and M2c macrophage subsets determine their relative efficacy in treating chronic kidney disease. *Kidney Int.*, 2013, vol. 84, pp. 745-755.
19. Mills C.D. M1 and M2 Macrophages: Oracles of Health and Disease. *Srit Rev Immunol.*, 2012, vol. 32, no. 6, pp. 463-488.
20. Mills C.D, Ley K.M1 and M2 macrophages: the chicken and the egg of immunity. *J. Innate Immun.*, 2014, vol. 6, no. 6, pp. 716-726. <https://doi.org/10.1159/000364945>
21. Mills C.D. Anatomy of a discovery: m1 and m2 macrophages. *Front Immunol.*, 2015, vol. 5, no. 6, pp. 212-212. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2015.00212>
22. Mills C.D., Lenz L.L., Harris R.A. A Breakthrough: Macrophage-Directed Cancer Immunotherapy. *Cancer Res.*, 2016, vol. 76, no. 3, pp. 513-516. <https://doi.org/10.1158/0008-5472.CAN-15-1737>
23. Mills C.D. Macrophage arginine metabolism to ornithine/urea or nitric oxide/citruline: a life or death issue. *Crit Rev Immunol.*, 2001, vol. 21, pp. 399-425. <https://doi.org/10.1615/CritRevImmunol.v21.i5.10>
24. Recommendations for euthanasia experimental animals: Part 1. Part 2. *Laboratory Animals*, 1996, vol. 30, pp. 293-316, 1997, vol. 31, pp. 1-32.

25. Rhee I. Diverse macrophages polarization in tumor microenvironment. *Arch. Pharm. Res.*, 2016, vol. 39, pp. 1588-1596. <https://doi.org/10.1007/s12272-016-0820-y>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Яценко Елена Михайловна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России
ул. Маршала Жукова, 10, г. Обнинск, 249031, Российская Федерация
yatsenko@mrrc.obninsc.ru

Барановский Денис Станиславович, кандидат медицинских наук, заведующий лабораторией биоматериалов и тканевых конструкций
МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»
ул. Маршала Жукова, 10, г. Обнинск, 249031, Российская Федерация;
ул. Миклухо-Маклая, 6, г. Москва, 117198, Российская Федерация
doc.baranovsky@gmail.com

Пронкевич Марианна Даныяловна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России
ул. Маршала Жукова, 10, г. Обнинск, 249031, Российская Федерация
marina40542@rambler.ru

Исаева Елена Васильевна, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник
МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России

*ул. Маршала Жукова, 10, г. Обнинск, 249031, Российская Федерация
kusimona@yandex.ru*

Смирнова Анна Николаевна, младший научный сотрудник

ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России

ул. Королева, 4, г. Обнинск, 249036, Российская Федерация

filimonowa.af@gmail.com

Петров Василий Николаевич, кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник

МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России

ул. Маршала Жукова, 10, г. Обнинск, 249031, Российская Федерация

yatsenko@mrrc.obninsc.ru

Иванов Сергей Анатольевич, доктор медицинских наук, профессор РАН, директор МРНЦ им. А.Ф. Цыба; профессор кафедры онкологии и рентгенорадиологии имени В.П. Харченко медицинского института РУДН

МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»

ул. Маршала Жукова, 10, г. Обнинск, 249031, Российская Федерация;

ул. Миклухо-Маклая, 6, г. Москва, 117198, Российская Федерация

oncurolog@gmail.com

Каприн Андрей Дмитриевич, доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, заслуженный врач России, генеральный директор ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России; заведующий кафедрой онкологии и рентгенорадиологии имени В.П. Харченко медицинского института РУДН

ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»

ул. Королева, 4, г. Обнинск, 249036, Российская Федерация; ул. Миклухо-Маклая, 6, г. Москва, 117198, Российская Федерация

kaprin@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Elena M. Yatsenko, Candidate of Biological Science, Senior Researcher

A. Tsyb Medical Radiological Research Center-branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation

10, Marshal Zhukov Str., Obninsk, 249031, Russian Federation

yatsenko@mrrc.obninsc.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0869-0133>

Denis S. Baranovsky, Candidate of Medical Sciences, Head of the Laboratory of Biomaterials and Tissue Structures

A. Tsyb Medical Radiological Research Center-branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation; Peoples Friendship University of Russia (RUDN University)

10, Marshal Zhukov Str., Obninsk, 249031, Russian Federation; 6,

Miklukho-Maklaya Str., Moscow, 117198, Russian Federation

doc.baranovsky@gmail.com

Marianna D. Pronkevich, Candidate of Biological Science, Senior Researcher

A. Tsyb Medical Radiological Research Center-branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation

10, Marshal Zhukov Str., Obninsk, 249031, Russian Federation

marina40542@rambler.ru

Elena V. Isaeva, Candidate of Veterinary Science, Senior Researcher

A. Tsyb Medical Radiological Research Center-branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation

10, Marshal Zhukov Str., Obninsk, 249031, Russian Federation

kusimona@yandex.ru

Anna N. Smirnova, Junior Researcher

National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation

4, Koroleva Str., Obninsk, 249031, Russian Federation

filimonowa.af@gmail.com

Vasiliy N. Petrov, Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher

A. Tsyb Medical Radiological Research Center-branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation

10, Marshal Zhukov Str., Obninsk, 249031, Russian Federation

yatsenko@mrrc.obninsc.ru

Sergey A. Ivanov, Doctor of Medical Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Director; Professor of Chair of Oncology and Radiology named after Kharchenko

A. Tsyb Medical Radiological Research Center-branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation; Peoples Friendship University of Russia (RUDN University)

10, Marshal Zhukov Str., Obninsk, 249031, Russian Federation; 6,

Miklukho-Maklaya Str., Moscow, 117198, Russian Federation

oncurolog@gmail.com

Andrey D. Kaprin, Academician of RAS, MD, professor, Director General; Head of Chair of Oncology and Radiology named after Kharchenko V.P. *National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation; Peoples Friendship University of Russia (RUDN University)*

4, Koroleva Str., Obninsk, 249031, Russian Federation; 6, Miklukho-

ho-Maklaya Str., Moscow, 117198, Russian Federation

kaprin@mail.ru

Поступила 25.09.2022

После рецензирования 18.10.2022

Принята 01.11.2022

Received 25.09.2022

Revised 18.10.2022

Accepted 01.11.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-470-484

UDC 339.9



Original article | Trade and Economic Cooperation

ENSURING FOOD SECURITY THROUGH TRADE AND ECONOMIC COOPERATION BETWEEN SIBERIA AND THE EURASIAN ECONOMIC UNION

A.A. Bykov, D.V. Borisov, S.V. Ryumkin

The paper focuses on a critical issue of ensuring food security for countries that are members of the Eurasian Economic Union (EAEU), which is especially important given the transformation of the global food market in the context of the COVID-19 pandemic. The research aims (1) to assess the possibility of creating a single food market of the EAEU and (2) to identify the difficulties faced by the Siberian agricultural sector in addressing food security issues and export development. The paper presents the results of the study concerning the development of trade and economic cooperation between the Siberian Federal District (SFD) of the Russian Federation and the EAEU countries with regard to the agricultural market. Based on the statistical analysis of national data, we examined the particular aspects of Siberian agricultural export development. We were able to identify the largest trading partners among the EAEU member states and study the particular aspects of their food imports based on the Russian database indicators. According to the analysis results, we concluded that exports are dominated by food products, namely intermediate and final products, which correspond to the objectives of the Russian Federation National Project International Cooperation and Exports. Market research on the breakdown of imports to the EAEU showed that it imported dairy products, fruits, vegetables, and processed foods. We identified the most promising areas of export development for the SFD based on a review of the scientific studies on economic integration and food security issues. The scientific novelty of this research lies in proving the need to develop exports of finished food products with a high level of processing, which requires the integrated development of the food processing industry in the SFD by means of regional strategic programs for introducing innovative biotechnologies in deep processing of agricultural raw materials. The research findings might be of great interest to members of the academic community and undergraduate and graduate students pursuing similar research agendas.

Keywords: Eurasian economic union; international economic integration; food security; agricultural sector; food market; grain; export; import

For citation. Bykov A.A., Borisov D.V., Ryumkin S.V. Ensuring Food Security Through Trade and Economic Cooperation Between Siberia and the Eurasian Economic Union. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 470-484. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-470-484

Научная статья | Торгово-экономическое сотрудничество

РАЗВИТИЕ ТОРГОВО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОТРУДНИЧЕСТВА РЕГИОНОВ СИБИРИ И СТРАН ЕАЭС НА ПРОДОВОЛЬСТВЕННОМ РЫНКЕ

А.А. Быков, Д.В. Борисов, С.В. Рюмкин

Статья посвящена проблеме, актуальной для стран, входящих в Евразийский экономический союз (ЕАЭС) – обеспечению продовольственной безопасности, особенно важной в условиях трансформации мирового продовольственного рынка в условиях пандемии. Целью авторского исследования стала оценка возможностей по формированию единого продовольственного рынка ЕАЭС и выявление проблем участия агропромышленного комплекса Сибири в решении задач обеспечения продовольственной безопасности и развития экспорта. В статье отражены результаты исследования развития торгово-экономического сотрудничества регионов Сибирского федерального округа (СФО) и стран ЕАЭС на рынке сельскохозяйственной продукции и продовольствия. Используя методы статистического анализа на основе показателей отечественных данных, авторы исследовали особенности развития экспорта сибирской агропромышленной продукции. Выявлены наиболее активные партнёры среди стран-членов ЕАЭС, изучены особенности импорта продовольственной продукции из этих стран на основе показателей российской базы данных. На основе результатов анализа сделан вывод о том, что в экспорте преобладают пищевые продукты, то есть продукция верхнего и среднего передела, что соответствует задачам национального проекта Российской Федерации по развитию экспорта. Анализ структуры импорта из стран ЕАЭС показал, что ввозится молочная продукция, а также фрукты, овощи и продукты их переработки. Опираясь на материалы анализа и обзор научной дискуссии по проблемам экономической интеграции и обеспечения продовольственной безопасности, авторы выделяют наиболее перспектив-

ные направления развития экспорта из СФО. Научная новизна заключается в обосновании необходимости развития экспорта готовой пищевой продукции с высоким уровнем переработки, что требует комплексного развития пищевой и перерабатывающей промышленности в СФО на основе региональных стратегических программ по внедрению инновационных биотехнологий по глубокой переработке сельскохозяйственного сырья. Результаты исследования, отраженные в статье, могут быть интересны представителям научного сообщества, студентам и аспирантам, занимающимся аналогичной проблематикой.

Ключевые слова: Евразийский экономический союз; международная экономическая интеграция; продовольственная безопасность; агропромышленный комплекс; продовольственный рынок; зерно; экспорт; импорт

Для цитирования. Быков А.А., Борисов Д.В., Рюмкин С.В. Развитие торгово-экономического сотрудничества регионов Сибири и стран ЕАЭС на продовольственном рынке // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №2. С. 470-484. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-470-484

Introduction

This study presents an urgent need to ensure food security in the Eurasian Economic Union (EAEU) based on creating a Common Economic Space, developing and implementing a single economic policy, including the agricultural sector. A significant role in overcoming these challenges is played by the Russian Federation National Project *International Cooperation and Export*, namely, the Project *Export of Agricultural Products* (International Cooperation and Export, 2018). In order to overcome the challenges of developing mutually beneficial trade and economic relations in the agricultural market between the Siberian Federal District (SFD) and the EAEU, it is necessary to scientifically substantiate the export profile of competitive products and identify problems that hinder the export of intermediate and final products.

Many Russian researchers pay considerable attention to how to achieve the level of food production and consumption in accordance with the new Food Security Doctrine [4; 20]. At the same time, others emphasize (1) the importance of food security for the national population policy [15], (2) the possibility of developing a market of environmentally friendly products [6], and (3) the importance of creating a national export potential [18; 19]. Moreover, trade and economic cooperation in the EAEU food market given the growing international division of labor due to the specifics of agriculture requires the study of theoretical and practical issues relating to the creation of a common food market

in the EAEU, product export development, and the introduction of a common food processing policy.

Materials and methods

When carrying this research, we attempted (1) to assess how the SFD is involved in the process of creating a common food market in the EAEU, (2) to identify what problems the Siberian agricultural sector faces in export development, and (3) to determine the profile of the food imports into the SFD from the EAEU. In this regard, we set the following objectives: (1) to assess the export and import transactions in the food market between the SFD and the EAEU in 2015–2020; (2) to analyze the export profile and its dynamics by commodity groups in accordance with the commodity nomenclature of foreign economic activity (CNFEA); (3) and to assess the specifics of the SFD food import in accordance with CNFEA, which allowed us to identify the most demanded commodity groups of imported food products. In order to facilitate this research, we reviewed a number of Russian and foreign studies on food security issues and agriculture integration processes in the EAEU. We also employed the methods of economic and statistical analysis as the primary research methodology. As the initial source of information, we used official data from the national statistical offices [2; 9]. The study examined the export profile and its dynamics between 2015 and 2020. We believe that by analyzing the selected characteristics, it is possible to determine the export profile of Siberian competitive products and identify the problems that constrain the export of intermediate and final products.

Results

There have been established long-term economic ties between various regions of Russia, including the Siberian Federal District, and the EAEU member states. These ties are intended to create a common food market and ensure mutual food security. The study examined the mutual supply of all agricultural products and foods over the period from 2015 to June 2020 (Fig. 1) [2]. We were able to conduct this study in accordance with the commodity nomenclature of foreign economic activity. We also examined several types of goods: CNFEA 01 – animal products; CNFEA 02 – crop products; CNFEA 03 – fats and oils; and CNFEA 04 – food products, beverages, and tobacco. The estimates showed that the share of food and agricultural products in total exports was 15.3% of all types of goods.

During the given period, animal products imports to Siberia exceeded their exports by 95.7 million dollars. Kazakhstan imported poultry meat, frozen

cattle meat, and pork. All EAEU member states imported condensed milk, cream, and cheese, whereas a special emphasis was given to national varieties of cheese.

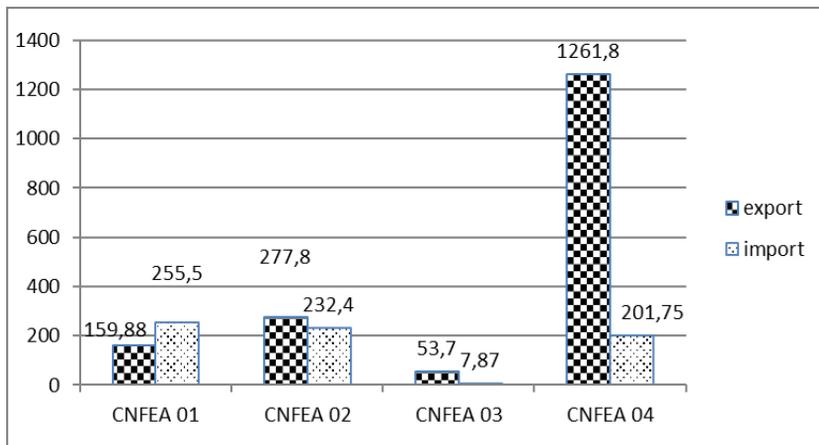


Fig. 1. Export and import development in the food market between the Siberian Federal District and the EAEU between 2015 and 2020, million dollars

Crop products exports exceeded imports by 45.4 million dollars. Grain exports continued to grow steadily, accounting for 40% to 55% of crop exports in various EAEU countries. Cereal products exports also increased, with the share in this product group ranging from 14% to 50%.

Wheat held the largest share in grain exports from Siberia. Wheat exports in 2020 amounted to 815.58 thousand tons worth 178.4 million dollars: 257.0 thousand tons were exported to Kazakhstan (49.1 million dollars), 78.8 thousand tons – to Kyrgyzstan (17.4 million dollars), 0.12 thousand tons – to Armenia (0.22 million dollars), and 0.02 thousand tons – to Belarus (SD 0.01 million dollars).

The development of the Siberian crop exports was facilitated by the grain processing industry, which comprises a powerful industrial sector with a processing volume of 8.4 million tons of grain. However, the capacity utilization rate varied from 53.5% (flour) to 57.8% (animal feed). The share of deep-processed grain products (starch, glucose, glucose-fructose syrups, bioproducts, including vitamins) in the SFD exports was insignificant. The SFD exports were dominated by the following categories of products: (1) seeds, grains, and medicinal plants (33.4%); (2) grain varieties (30.5%); and (3) flour and cereal products (19.6%).

Siberian regions imported vegetables (one-third of all crop imports), fruits, nuts, cereals, and grains.

There were almost no imports in the export category of fats and oils, whereas vegetable oils were exported from Siberia in a wide range: sunflower oil was the main export item (over 60% of this export category of goods), followed by soybean oil and rapeseed oil. There was a fairly steady demand for margarine, as well as for linseed oil, corn oil, ginger oil, sesame oil, and castor oil. Unique Siberian oils enjoyed a particular demand, including cedar oil, milk thistle oil, sea buckthorn oil, and pumpkin oil.

According to the research findings, food exports from the SFD to the EAEU were 6.5 times more than food imports to the SFD. Goods with high added value were among the most exported: (1) cereal and flour products; (2) chocolate and other products containing cocoa; (3) pastries, including cakes and cookies; (4) sugar; and (5) pasta. A wide variety of sugar and confectionery products were imported from the EAEU.

The study of trade relations in the agricultural products market showed that exports to the EAEU from the SFD amounted to 1,653.18 million dollars during the given period, where the share of Kazakhstan was 73.37%, Belarus – 13.2%, Kyrgyzstan – 11.03%, and Armenia – 2.4% (Table 1). (Export and import of Russia by goods and countries, 2021).

Table 1.

Food exports from the Siberian Federal District to Central Asian countries between 2015 and 2020 (six years) (million dollars)

Years	Countries				Total for five years
	Kazakhstan	Kyrgyzstan	Belarus	Armenia	
CNFEA 01 (01-05)	139.2	17.3	3.2	0.18	159.88
CNFEA 02 (06-14)	200.3	31.2	40.1	6.2	277.8
CNFEA 03 (1502-1517)	43.3	8.12	1.24	1.04	53.7
CNFEA 04 (16-24)	928	127.9	174.3	31.6	1,261.8
Total	1,210.8	184.52	218.84	39.02	1,653.18
Share of the country in exports over five years, %	73.37	11.03	13.2	2.4	

Among the countries where animal products are exported from the SFD, Kazakhstan ranked 1st with its share of 32.5%, Kyrgyzstan – 8th with a share of 4.2%, and Belarus – 17th with a share of 0.8%.

China remained the undisputed leader in exports of crop products, accounting for one-third of these exports. Kazakhstan ranked 3rd with a share of 12.1%, followed by Belarus in 8th place with a share of 2.9%, and Kyrgyzstan in 14th place with a share of 1.1%.

Vegetable oil exports have been actively developing by the efforts of Siberian agricultural enterprises for the last five years. China was the largest trading partner in this market with a share of 39.6%, followed by Kazakhstan with 10.3% and Kyrgyzstan in 9th place with a share of 2%, while Belarus ranked 14th with 0.3% and Armenia ranked 19th with 0.2%.

The SFD exports of food products amounted to 1,261.8 million dollars during the given period. Kazakhstan made up 43.1%, indicating that it was the unquestionable leader in this market segment. Belarus ranked 3rd with the export share of 8.1%, Kyrgyzstan – 5th place with a share of 6%, Armenia – 11th place with a share of 1.4%.

Therefore, Kazakhstan was a leading trading partner of Siberian agricultural producers engaged in export activities.

We studied how the EAEU affected the food and agricultural products market in the SFD (Table 2) [9].

Table 2.

Food imports to the Siberian Federal District from the EAEU countries between 2015 and 2020 (six years) (million dollars)

Years	Countries				Total for five years
	Kazakhstan	Kyrgyzstan	Belarus	Armenia	
CNFEA 01 (01-05)	106.2	26.4	120.6	2.3	255.5
CNFEA 02 (06-14)	200.3	15.3	13.4	3.4	232.4
CNFEA 03 (1502-1517)	7.8	-	0.07	-	7.87
CNFEA 04 (16–24)	183.0	4.1	13.2	1.45	201.75
Total	497.3	45.8	157.27	7.15	707.52
Share of the country in imports over five years, %	69.4	6.5	22.2	1.0	100%

Kazakhstan was the leading trading partner by import volume with 69.4% of the total imports from the EAEU during the given period, Belarus ranked 2nd, Kyrgyzstan ranked 3rd, and Armenia ranked 4th.

Crop products were imported the most, with Kazakhstan ranking 1st in terms of imports among the EAEU countries, followed by Kyrgyzstan in 2nd place, Belarus in 3rd place, and Armenia in 4th place.

Discussion

Some researchers focus on the development strategies of the EAEU [7; 10]. A number of studies indicate that, given the increasing competition in the global food market, special importance has been acquired by regional trade and economic integration [11; 12]. When discussing opportunities for export development of the SFD agricultural sector, some studies emphasize the prospects of establishing long-term economic ties with Asian countries [17; 19], including countries that seek to join the EAEU [1; 5]. Several researchers pay attention to the competitiveness of the EAEU food products in the global food market [3; 16] while emphasizing the importance of government support for the development of agricultural exports [8; 14]. However, there has been insufficient research into the issue of how to establish joint industrial and business activities of agricultural enterprises in the EAEU.

Insights into the theoretical discussion on the development of the EAEU and the creation of mutual food security strategy allowed us to reach a consensus on the issues of export and import transactions concerning the Siberian agricultural sector.

The SFD faces a major challenge related to the export development of agricultural products because of large exports of unprocessed grains and seeds from oil-bearing crops, resulting in commodity exports. Almost all Siberian regions are primarily exporting to China, the leading trading partner, and only then do they export products to the EAEU countries. There are practically no grain exports of deep-processed products as such processing facilities are still under construction in the SFD. This leads to a decrease in the efficiency of grain production and the reduction of budgets at all levels in the SFD regions.

There are no organic exports because agricultural enterprises in Siberia are only beginning to engage in eco-certification of farmland and agricultural products.

Conclusion. We have undertaken a review of the main development areas of trade and economic cooperation between Siberia and the EAEU in the market of agricultural products, as well as the possibility of its strategic development to ensure food security in the EAEU. Agricultural sector exporters in the SFD should strive to export finished products since this is the most promising area for implementing the concept of national agricultural exports development.

The development of the food and processing industry can become a driver of sustainable economic development of rural communities through the industrial development and creation of new technology-driven enterprises that put into practice scientific innovations of Siberian scientists and engineers related to zero-waste biotechnology of agricultural raw materials processing.

We should mention the deep processing of grain crops supported by Russian technologies as one of the most important sectors of the food processing industry in the SFD. Grain crops are critical in ensuring food security and livestock industry development, but they are also important for the chemical industry, pharmaceutical industry, and other economic sectors. In this regard, grain largely determines the cross-sectoral proportions of the local economy.

It would be reasonable to create an analytical center specialized in biotechnologies developed by Siberian scientists in order to increase the competitiveness of the Siberian food market. This center will (1) focus on promoting research and innovation in biotechnology, (2) establish cooperation between entrepreneurs, the academic community, and the local authorities, (3) create an infrastructure to support innovative biotechnology projects, and (4) implement innovative pilot projects. For example, it would be sensible (1) to create functional food products in the dairy industry, including therapeutic products, preventive products, and children's products, (2) to create food ingredients, including vitamins and organic mixtures, and (3) to perform deep processing of food raw materials. Such enterprises will make it possible to fully meet the consumer demand in the food market in all EAEU member states.

Belarus is a leader in flax production and processing, and its technology is one of the finest in Europe, which is why it is advisable to expand production of all flax varieties in the South Siberian macro-region to organize its processing by establishing joint ventures of Russia and the Republic of Belarus. One promising area of cooperation lies in establishing joint processing enterprises in Siberia to produce functional and specialized nutritional products using innovative technologies of Siberian and Belarusian scientists, taking into account the steady growth in the demand for these products.

In order to expand the animal products range, it would be reasonable to create joint ventures in the SFD with entrepreneurs from Kazakhstan and Kyrgyzstan, including attracting Islamic private equity funds. This will make it possible to produce quality products that meet export requirements in the Arab states, which are the most promising for the national export policy development.

Subsequently, it might be worth considering developing scientific and technological cooperation among the EAEU member states to produce goods according to people's changing needs and jointly develop exports to other countries.

References

1. Avdeyev M.V., Tsvetnov Ye.V., Cherkasova O.V. *Tovarooborot agroproduktov'stvennoy produktsii Rossii i stran Tsentral'noy Azii* [Trade turnover of agricultural

- products between Russia and Central Asia]. *Rossiyskiy Vneshneekonomicheskii Vestnik* [Russian Foreign Economic Bulletin], 2019, no. 4. pp. 74-87.
2. AO Rossiyskiy eksportnyy tsentr – podderzhka eksporta RF. Ofitsial'nyy sayt [JSC Russian Export Center - support for Russian exports. Official site], n.d. URL: <https://www.exportcenter.ru/>
 3. Borisova O.V., Petrova L.I. Razvitiye eksporta pishchevykh produktov verkhnikh peredelov iz Sibirskogo federal'nogo okruga [Development of export of high-grade food products from the Siberian federal district]. *Biznes. Obrazovaniye. Pravo* [Business. Education. Law], 2020, vol. 3, no. 52. pp. 43-47. <https://doi.org/10.25683/VOLBI.2020.52.352>
 4. Bryntsev A.N., Lapin A. V., Levina Ye. V. Makroekonomicheskii analiz tendentsiy razvitiya prodovol'stvennoy bezopasnosti Rossii [Macroeconomic analysis of trends in the development of food security in Russia]. *Prodovol'stvennaya Politika i Bezopasnost'* [Food Policy and Security], 2021, vol. 8, no. 1, pp. 23-32.
 5. Bykov A.A., Borisova O.V. Vzaimnoye vliyaniye APK Sibiri i tsentral'noaziatskikh stran na formirovaniye prodovol'stvennogo rynka [Mutual influence of agro-industrial complex of Siberia and Central Asian countries on the formation of the food market]. *Fundamental'nyye Issledovaniya* [Basic Research], 2020, no. 6, pp. 16-20.
 6. Vorobyev N.N., Agarkova L.V. Mekhanizm regulirovaniya rynka ekologicheskii chistoy produktsii v regional'nom kontekste [Mechanism of regulation of the market of environmentally friendly products in the regional context]. *Prodovol'stvennaya Politika i Bezopasnost'* [Food Policy and Security], 2020, vol. 7, no. 4, pp. 243-258.
 7. Glazyev S.Yu. Ocherednyye zadachi makroekonomicheskoy politiki Rossii na yevraziyskom prostranstve [The next tasks of Russia's macroeconomic policy on the Eurasian space]. *EvrAziyskaya Integratsiya: Ekonomika, Pravo, Politika* [Eurasian Integration: Economics, Law, Politic], 2020, vol. 14, no. 4, pp. 9-12. <https://doi.org/10.22394/2073-2929-2020-4-9-12>
 8. Elina O.A. *Kontseptsiya operezhayushchego razvitiya eksporta produktsii agropromyshlennogo kompleksa Rossii do 2024 goda* [Concept of outstripping development of export of products of the agro-industrial complex of Russia until 2024]. Moscow: INFRA-M, 2020, 213 p.
 9. *Import v Sibirskiy federal'nyy okrug: «Produkty rastitel'nogo proiskhozhdeniya»* [Import to the Siberian Federal District: "Products of plant origin,"], 2021. URL: <https://ru-stat.com/date-Y2015-2020/RU06/import/world/02>
 10. Israilov Ye.A. *Prioritetnyye napravleniya yevraziyskoy integratsii // Bol'shaya Yevraziya: razvitiye, bezopasnost', sotrudnichestvo. Yezhegodnik. Vypusk 4.*

- Chast' I* [Priority areas of Eurasian integration. Greater Eurasia: Development, security, cooperation. Yearbook. Issue 4. Part 1] [Ed. Gerasimov V.I.]. Moscow.: Institute of Scientific Information on Social Sciences of the Russian Academy of Sciences. Department of scientific cooperation, 2021. pp. 225-226.
11. Kashkin S.Yu. Rossiyskaya Federatsiya i razvitiye integratsionnykh protsessov v sovremennom mire: problemy i perspektivy [Russian Federation and the development of integration processes in the modern world: Problems and prospects]. *Yevraziyskaya Integratsiya: Ekonomika, Pravo, Politika* [Eurasian Integration: Economics, Law, Politics], 2020, no. 1, pp. 47-54. <https://doi.org/10.22394/2073-2929-2020-1-47-54>
 12. Kireyenko N.V. Modeli razvitiya agrarnogo biznesa v mezhdunarodnoy praktike [Models of agrarian business development in international practice]. *Yevraziyskaya Integratsiya: Ekonomika, Pravo, Politika* [Eurasian Integration: Economics, Law, Politics], 2021, vol. 59, no. 1, pp. 22-40. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-1-22-40>
 13. *Pasport natsional'nogo proyekta (programmy) "Mezhdunarodnaya kooperatsiya i eksport" (utv. prezidiumom Soveta pri Prezidente RF po strategicheskomu razvitiyu i natsional'nym proyektam, protokol ot 24.12.2018 № 16)* [Passport of the national project (program) "International Cooperation and Export" (approved by the Presidium of the Council under the President of the Russian Federation for Strategic Development and National Projects, protocol dated December 24, 2018 No. 16)], 2018. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_319212/
 14. Simachev Yu.V., Fedyunina A.A., Kuzyk M.G., Daniltsev A.V., Glazatova M.K., Aver'yanova Yu.V. *Rossiya v global'nom proizvodstve* [Russia in global production], 2020. URL: <https://publications.hse.ru/pubs/share/direct/368509578.pdf>
 15. Staroverov V.I., Vartanova M.L. Prodovol'stvennaya bezopasnost' Rossii - vazhneyshaya sostavlyayushchaya demograficheskoy politiki strany [Food security of Russia - the most important component of the country's demographic policy]. *Ekonomicheskkiye Otnosheniya* [Journal of International Economic Affairs], 2019, vol. 9, no. 4, pp. 2851-2862. <https://doi.org/10.18334/eo.9.4.41461>
 16. Statsenko A.E. Puti povysheniya konkurentosposobnosti agrarnogo sektora Rossii v usloviyakh sovremennykh vyzovov [Ways to increase the competitiveness of the Russian agricultural sector in the context of modern challenges]. *Nikonovskie Chteniya* [Nikon Readings], 2018, no. 23, pp. 127-129.
 17. Bocharov S.Ye., Butakov M.M. Belyayev V.I., German O.I., Goryaninskaya O.A., Lobova S.V. Samsonov R.A., Tatarintsev V.L. Fandin A.A. *Eksport produktsii APK Altayskogo kraya: perspektivy, problemy, tselevyye rynki:*

- monografiya* [Export of agricultural products of the Altai Territory: Prospects, problems, target markets: monograph]. Barnaul: ASU, 2020, 244 p.
18. Bugai, Yu., Minenko, A., Khorunzhin, M. State and problems of exporting the products of the agro-industrial complex in the Altai region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 395, e012105. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/395/1/012105>
 19. Butakova M.M., Borisova O.V., Goryaninskaya O A. Exports of vegetable oils to Asian markets: Opportunities, risks, and prospects. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 670, e012045. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/670/1/012045>
 20. Kundius V.A., Voronkova, O.Y. Innovative technologies and challenges production of organic ecological products in the regions of Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 274, e012070. <https://doi.org/10.1088/1755-1315%2F274%2F1%2F012070>

Список литературы

1. Авдеев М.В., Цветнов Е.В., Черкасова О.В. Товарооборот агропродовольственной продукции России и стран Центральной Азии // Российский внешнеэкономический вестник. 2019. №4. С.74-87.
2. АО Российский экспортный центр – поддержка экспорта РФ. Официальный сайт, н.д. URL: <https://www.exportcenter.ru/>
3. Борисова О.В., Петрова Л.И. Развитие экспорта пищевых продуктов верхних переделов из Сибирского федерального округа // Бизнес. Образование. Право. 2020. Т. 3 №52. С. 43–47. <https://doi.org/10.25683/VOLBI.2020.52.352>
4. Брынцев А.Н., Лапин А.В., Левина Е.В. Макроэкономический анализ тенденций развития продовольственной безопасности России // Продовольственная политика и безопасность. 2021. Т.8. №1 С. 23-32.
5. Быков А.А., Борисова О.В. Взаимное влияние АПК Сибири и центральноазиатских стран на формирование продовольственного рынка // Фундаментальные исследования. 2020. №6, С. 16-20.
6. Воробьев Н.Н., Агаркова Л.В. Механизм регулирования рынка экологически чистой продукции в региональном контексте // Продовольственная политика и безопасность. 2020. Т. 7 № 4. С. 243-258.
7. Глазьев С.Ю. Очередные задачи макроэкономической политики России на евразийском пространстве // Евразийская интеграция: экономика, право, политика. 2020. Т.14. №4. С. 9-12. <https://doi.org/10.22394/2073-2929-2020-4-9-12>
8. Елина О.А. Концепция опережающего развития экспорта продукции агропромышленного комплекса России до 2024 года. М.: ИНФРА-М, 2020. 213 с.

9. Импорт в Сибирский федеральный округ: «Продукты растительного происхождения.» 2021 г. URL: <https://ru-stat.com/date-Y2015-2020/RU06/import/world/02>
10. Исраилов Е.А. Приоритетные направления евразийской интеграции // Большая Евразия: развитие, безопасность, сотрудничество. Ежегодник. Выпуск 4. Часть 1 [Под ред. Герасимов В.И.]. М.: Институт научной информации по общественным наукам Российской академии наук. Отдел научного сотрудничества, 2021. с. 225-226.
11. Кашкин С.Ю. Российская Федерация и развитие интеграционных процессов в современном мире: проблемы и перспективы // Евразийская интеграция: экономика, право, политика. 2020. №1. С. 47-54. <https://doi.org/10.22394/2073-2929-2020-1-47-54>
12. Киреенко Н.В. Модели развития аграрного бизнеса в международной практике // Евразийская интеграция: экономика, право, политика. Т.59. №1. С. 22-40. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-1-22-40>
13. Паспорт национального проекта (программы) «Международная кооперация и экспорт» (утв. президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2018 № 16), 2018. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_319212/
14. Россия в глобальном производстве / Симачев Ю.В., Федюнина А.А., Кузык М.Г., Данильцев А.В., Глазатова М.К., Аверьянова Ю.В., 2020. URL: <https://publications.hse.ru/pubs/share/direct/368509578.pdf>
15. Староверов В.И., Вартанова М.Л. Продовольственная безопасность России - важнейшая составляющая демографической политики страны // Экономические отношения. 2019. Т. 9. №4. С. 2851-2862. <https://doi.org/10.18334/eo.9.4.41461>
16. Стаценко А.Э. Пути повышения конкурентоспособности аграрного сектора России в условиях современных вызовов // Никоновские чтения. 2018. №23. С. 127-129.
17. Экспорт продукции АПК Алтайского края: перспективы, проблемы, целевые рынки: монография // Бочаров С.Е., Бутаков М.М. Беляев В.И., Герман О.И., Горянинская О.А., Лобова С.В. Самсонов Р.А., Татаринов В.Л. Фандин А.А. Б.: Изд-во Алт. ун-та, 2020. 244 с.
18. Bugai, Yu., Minenko, A., Khorunzhin, M. State and problems of exporting the products of the agro-industrial complex in the Altai region // IOP Conference Series. Earth and Environmental Science, 2019, vol. 395, e012105. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/395/1/012105>
19. Butakova M.M., Borisova O.V., Goryaninskaya O A. Exports of vegetable oils to Asian markets: Opportunities, risks, and prospects // IOP Conf. Se-

- ries: Earth and Environmental Science, 2020, vol. 670, e012045. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/670/1/012045>
20. Kundius V.A., Voronkova, O.Y. Innovative technologies and challenges production of organic ecological products in the regions of Russia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. vol. 274, e012070. <https://doi.org/10.1088/1755-1315%2F274%2F1%2F012070>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Быков Александр А.

Сибирский Федеральный Научный Центр Агробиотехнологий Российской Академии Наук; Новосибирский Государственный Аграрный Университет

Р. П. Краснообск, Новосибирская Область, Новосибирский Район, 630501, Российская Федерация; ул. Никитина 155, г. Новосибирск, 630039, Российская Федерация
bykov47@yandex.ru

Борисов Дмитрий В.

Сибирский Федеральный Научный Центр Агробиотехнологий Российской Академии Наук

Р. П. Краснообск, Новосибирская Область, Новосибирский Район, 630501, Российская Федерация
borisov_dv@mail.ru

Рюмкин Сергей В.

Новосибирский Государственный Аграрный Университет
ул. Никитина 155, г. Новосибирск, 630039, Российская Федерация
sergeyryumkin@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHORS

Alexander A. Bykov

Siberian Federal Scientific Center of Agro-biotechnologies of the Russian Academy of Sciences; Novosibirsk State Agrarian University
Krasnoobsk work settlement, Novosibirsk Region, Novosibirsk District, 630501, Russian Federation; 155, Nikitina Str., Novosibirsk, 630039, Russian Federation

bykov47@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5034-6777>

Dmitrii V. Borisov

Siberian Federal Scientific Center of Agro-biotechnologies of the Russian Academy of Sciences

Krasnoobsk work settlement, Novosibirsk Region, Novosibirsk District, 630501, Russian Federation

borisov_dv@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5185-516X>

Sergey V. Ryumkin

Novosibirsk State Agrarian University

155, Nikitina Str., Novosibirsk, 630039, Russian Federation

sergeyryumkin@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2427-8029>

Поступила 30.03.2022

После рецензирования 07.05.2022

Принята 05.06.2022

Received 30.03.2022

Revised 07.05.2022

Accepted 05.06.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-485-506

УДК 338.439



Научная статья | Продовольственная безопасность

СИСТЕМА ВЗАИМОСВЯЗИ ТРАНСФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ АГРАРНЫХ СТРУКТУР И ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОЙ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

*Т.П. Максимова, Т.Г. Бондаренко,
О.А. Жданова, Н.А. Проданова*

Обоснование. Актуальность исследуемой проблемы связана с выявлением взаимосвязи трансформационных процессов аграрных структур и вопросов устойчивой продовольственной безопасности; с определением противоречий и неопределенностей гармоничного взаимодействия разных форм хозяйствования, сформированных в процессе трансформации; выявлением их функциональных различий; типологии и сценарных прогнозов развития. Обоснован дуалистический характер результатов трансформации основных форм хозяйствования в системе национальной экономики.

Цель исследования. Выявление ключевых аспектов специфики результатов трансформационных процессов хозяйственных структур в аграрной экономике РФ и обоснование важности гармоничной взаимосвязи между собой в соответствии с задачами продовольственной безопасности в условиях современных вызовов.

Материалы и методы. Использована методология комплексного подхода с опорой на системный подход западных и российских исследователей, а также на методологию малых хозяйственных структур Чаянова А.В., Кондратьева Н.Д. Задействованы методы сравнительно-экономического анализа при использовании данных официальной статистики РФ и ФАО, а также методы визуализации результатов исследования. Для изучения специфики разных хозяйственных структур использован кейс-метод, а для определения трендов дальнейшего развития – метод сценарного моделирования.

Результаты. На основе сравнительного анализа результатов рыночной трансформации хозяйственных структур и экономических эффектов от их

деятельности выявлено, что: во-первых, динамика и темпы продовольственной инфляции в системе российской экономики ниже общемировых; во-вторых, в структуре производства и темпов объемов выпуска продовольственных товаров преобладают крупные хозяйственные структуры; в-третьих, преобладание рыночной власти со стороны крупных хозяйственных структур приводит к деформации рыночных отношений и необходимости поиска решения проблемы создания равных возможностей для крупных и малых хозяйственных структур.

Заключение. Обоснована важность создания модели гармоничных отношений между разными формами хозяйствования. Осуществлены сценарные прогнозы возможных трендов дальнейшего развития малых и крупных хозяйственных структур.

Ключевые слова: продовольственная безопасность; продовольственные рынки; малый и крупный бизнес; процессы трансформации; агрохолдинги; сельскохозяйственные кластеры

Для цитирования. Максимова Т.П., Бондаренко Т.Г., Жданова О.А., Проданова Н.А. Система взаимосвязи трансформационных процессов хозяйственных аграрных структур и проблемы устойчивой продовольственной безопасности // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №2. С. 485-506. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-485-506

Original article | Food Security

INTERRELATION SYSTEM OF TRANSFORMATIONAL PROCESSES OF AGRICULTURAL ECONOMIC STRUCTURES AND PROBLEMS OF SUSTAINABLE FOOD SECURITY

*T.P. Maksimova, T.G. Bondarenko,
O.A. Zhdanova, N.A. Prodanova*

The relevance of the problem under study is connected with the identification of the relationship between the transformation processes of agrarian structures and issues of sustainable food security; with the definition of contradictions and uncertainties of the harmonious interaction of different forms of management formed in the process of transformation; revealing their functional differences; typology and

scenario forecasts of development. The dualistic nature of the results of the transformation of the main forms of management in the system of the national economy is substantiated.

Purpose. *Identification of key aspects of the specifics of the results of transformational processes of economic structures in the agrarian economy of the Russian Federation and substantiation of the importance of a harmonious relationship with each other in accordance with the tasks of food security in the face of modern challenges.*

Materials and methods. *The methodology of an integrated approach was used based on the systematic approach of Western and Russian researchers, as well as on the methodology of small economic structures Chayanova A.V., Kondratieva N.D. Methods of comparative economic analysis using the data of official statistics of the Russian Federation and FAO, as well as methods of visualizing the results of the study are involved. The case method was used to study the specifics of various economic structures, and the scenario modeling method was used to determine the trends for further development.*

Results. *Based on a comparative analysis of the results of the market transformation of economic structures and the economic effects of their activities, it was revealed that: firstly, the dynamics and rates of food inflation in the system of the Russian economy are lower than the global ones; secondly, large economic structures prevail in the structure of production and rates of output of food products; thirdly, the predominance of market power on the part of large economic structures leads to the deformation of market relations and the need to find a solution to the problem of creating equal opportunities for large and small economic structures.*

Conclusion. *The importance of creating a model of harmonious relations between different forms of management is substantiated. Scenario forecasts of possible trends in the further development of small and large economic structures have been made.*

Keywords: *food security; food markets; small and large businesses; transformation processes; agricultural holdings; agricultural clusters*

For citation. *Maksimova T.P., Bondarenko T.G., Zhdanova O.A., Prodanova N.A. Interrelation System of Transformational Processes of Agricultural Economic Structures and Problems of Sustainable Food Security. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 485-506. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-485-506*

Введение

Актуальность данного исследования обусловлена комплексом специфических факторов во втором десятилетии XXI столетия, как для всей мировой экономики, так и для национальных экономик. Данные факто-

ры можно разделить на две большие группы: глобальные и эндогенные институциональные. К первой группе факторов логично отнести вызовы мировой пандемии COVID-19, которые обострили влияние мировой продовольственной безопасности не только в соотношении пороговых значений количественных показателей проблемы голода, но трансформируют, в целом, ментальность системы первичных потребностей в продовольствии по алгоритму: от количества к качеству питания. В частности, это прослеживается по шагам со стороны Международной продовольственной организации ООН (ФАО), которая стала давать все больше очевидных сигналов для смены ориентиров в системе первичных потребностей, ориентируя на «здоровое» питание [8; 10]. Также к первой группе факторов следует добавить феномен биполярности между более устойчивыми по вопросам продовольственного обеспечения западными экономиками и экономиками Азии, Африки и Латинской Америки, где исторически проблемы продовольственной безопасности носили более острый характер. Следствием такой биполярности можно рассматривать наложение влияния геополитических факторов на зависимость сферы сельскохозяйственного производства от природно-климатических факторов, что вместе детерминировало рост продовольственной инфляции во всем мире.

При решении этих задач очевидна актуальность в поиске ответов на вопросы: во-первых, кто будет производить. Во-вторых, как будут производить, а также, какая мотивация будет преобладать у сельхозпроизводителей и какие факторы производства, способы и технологии будут использованы. В-третьих, какая система взаимосвязей между ними может рассматриваться в перспективе оптимальной в контексте, как моделей организации, так и трансформации рыночных структур, в целом, когда наблюдаются очевидные процессы концентрации земельных ресурсов, укрупнение хозяйствующих структур и усиления роли государства в сфере сельского хозяйства. Согласно устоявшимся подходам, в российской экономической и аналитической литературе тех, кто занимается производством сельскохозяйственной продукции, включая продовольственную (независимо от этапа в цепочке создания стоимости конечной продукции, размеров общей численности, объемов выручки) именуют «формы хозяйствования». В западной литературе, как правило, внимание акцентируется на двух основных типах аграрных структур: мелких или крупных форм хозяйствования (или фермерских хозяйствах или крупных агрокорпорациях) [27; 23]. Однако в рыночных условиях, все же в качестве основного субъекта производства, обеспечивающего конкурентоспособность на продовольственных рынках, рассматриваются

фермерские хозяйства, которые имеют свою особенность и специфику в каждой стране, как в части получения государственной поддержки, так и в части способов и методов интеграции между собой и с крупными аграрными структурами [19; 15; 21]. Среди российских исследователей и аналитиков тема агрохолдингов остается «точечной», поскольку официальная статистика по таким хозяйственным структурам отсутствует, и рассмотрение историй успеха, экономических эффектов и влияния деятельности агрохолдингов на сохранение на рынках конкурентной среды и сельского уклада жизни, чаще всего осуществляется на анализе отдельных кейс-ситуаций конкретной хозяйственной структуры [24; 29; 17].

Неопределенность, по мнению авторов, сохраняется и в связи с тем, что в западной экономической литературе отдельно категория «формы хозяйствования», как хозяйствующий субъект, не рассматривается, а используется чаще словосочетанием «forms of farming» или лаконично «farms» (фермерские хозяйства), «forms of business» (формы ведения бизнеса). Следовательно, для исследователей разных направлений уже изначально заложена «интрига» и есть предмет для изучения и дискуссий, включая: определение сущностных характеристик каждой формы хозяйствования; особенностей их рыночной трансформации и эволюции каждого вида хозяйственной структуры; изучение эффективных способов их взаимосвязей и гармоничной системы взаимодействия. Поскольку именно от сбалансированной системы взаимодействия разных хозяйственных структур в сфере агропромышленного производства будут зависеть объемы и качество предложения продовольственных товаров [22; 18].

Поэтому целью статьи является выявление ключевых аспектов специфики трансформационных процессов аграрных структур в соответствии с задачами продовольственной безопасности в условиях современных вызовов.

Исходя из сформулированной цели, среди ключевых задач можно выделить следующие:

- осуществить сравнительно-экономический анализ темпов продовольственной инфляции, как индикатора предложения продовольственных товаров и рыночных сигналов для хозяйственных структур и государственных институтов;
- изучить противоречивый характер рыночной трансформации в аграрной экономике с выделением дуалистического характера разных хозяйственных структур;
- выделить в качестве детерминирующего феномен экзогенных факторов, включая влияние мировой пандемии на трансформацию

потребительского выбора в части вопросов более избирательного спроса на продовольственные товары, что косвенно влияет на дальнейшее развитие хозяйственных структур;

- рассмотрение эффектов деглобализации, как новых специфических вызовов для всей системы хозяйственных структур в аграрной сфере национальных экономик.
- определить основные тренды дальнейшей трансформации и эволюции малых и крупных хозяйственных структур.

Материалы и методы исследования

В контексте проблем продовольственной безопасности и способов их достижения: кто будет производить; как будут производить; кто будет потреблять или насколько доступно будут продовольственные товары важно использование методологических принципов комплексного системного подхода к предмету исследуемой проблемы. Иными словами, ответы на поставленные вопросы тесно взаимосвязаны между собой: оттого, какие хозяйственные структуры будут эффективно развиваться и как или каким образом будут гармонизированы отношения между малым и крупным бизнесом в сфере производства сельскохозяйственной и продовольственной продукции, будет зависеть доступность продовольствия для домохозяйств. С другой стороны, колебания индексов цен на продовольственные товары, которые при неизменности доходов снижают доступность к продовольственным товарам, являются сигналами не только для глобальной проблемы обеспечения продовольственной безопасности, но и рассматриваться косвенным признаком дисбалансов в системе отношений между разными хозяйствующими структурами в лице сельхозпроизводителей. Системный подход предполагает так же использование принципов верифицируемости: в частности, при рассмотрении экономических эффектов от производственной деятельности разных форм хозяйствования и для объяснения общих причин спадов или подъёмов в аграрной сфере экономики. В мировой экономической литературе основоположниками системного подхода часто называют таких исследователей, как Берталанфи Л., Боно Э., Саймон Г., Друкер П. и другие. Среди российских исследователей много внимания проблеме системного подхода посвящено в работах Клейнера Г.Б. И хотя он изучает использование этого метода чаще на примерах разработки стратегии и тактики промышленных предприятий, основные принципы можно, по мнению автора, адаптировать и к хозяйственным структурам в сельском хозяйстве [2; 16; 28]. В частности, при исследовании проблемы гармонизации отношений между разными хозяй-

ственными структурами становятся актуальными такие принципы, как: во-первых, системно-структурный или выяснении взаимосвязей между элементами исследуемой системы; во-вторых, системно-функциональный, смысл которого состоит в выявлении и изучении основных функций основных структурных элементов; в-третьих, «симбиоз, сопричастность, коэволюция в доминирующих отношениях» [3].

С позиции достаточно популярно-обоснованной в последние годы методологии институционального подхода, каждая хозяйственная структура, представленная официальной статистикой при учете субъектов производства как формы хозяйствования, можно рассматривать, как локальный институт на рынках продовольственных товаров. Использование такого подхода позволяет не только проанализировать влияние организационно-нормативно институций на результаты трансформационных процессов, но и рассмотреть возможности синтеза потенциала обновленного «ренессанса» системы кооперативных отношений с опорой на теорию Чаянова А.В. и, так называемой, вертикальной интеграции с опорой на систему контрактных отношений, как в крупных хозяйственных структурах, так и между крупными и малыми: например, в моделях агропромышленных кластеров [20]. Отдельного внимания заслуживает направление неоинституциональной теории с акцентом на неформальные институты, которые, по убеждению авторов, на уровне сельских территорий имеют особое значение, а эффекты их воздействия определяют не только характер производства, но и тренды на здоровое питание, сохранение культурных традиций и национальной идентичности одновременно с обновлением «патриархальности» сельского уклада жизни [6]. Так, например, «чаяновская» модель крестьянского хозяйства, основанная на использовании семейного труда существенно, меняет свой облик и в настоящее время уже больше опирается на современные технологии и допускает использование наемного труда при тенденциях укрупнения [13; 30]. Совершенно очевидно, что в процессе смены поколений и типов экономических систем произошла трансформация ментальности и мотивации хозяйствования таких хозяйственных структур. За период рыночной трансформации сформировался новый тип хозяйствующего субъекта: это уже хозяйствующий субъект нового поколения, который реагирует на все существующие вызовы. В условиях развития информационных технологий и интернета изучить и понять такие изменения помогает использование кейс-метода, который, по сути, стал субститутутом ранее распространенного метода «полевых» исследований, когда на основе «живого» общения с хозяйствующими субъектами можно было получить достаточно много эм-

пирического материала для исследования. в частности в группах профессиональных сообществ по аграрной тематике [26]. В современных условиях всеобщих трендов цифровизации, по мнению авторов, не стоит игнорировать метод исследования кейс-ситуаций, поскольку он позволяет изучить не только многообразие практических ситуаций, но и исследовать мгновенную реакцию со стороны хозяйственных структур на как на внутренние, так и на внешние вызовы, что при использовании традиционных статистических методов осуществляется с объективным временным интервалом.

Результаты исследования

Анализ ситуации на продовольственных рынках за последние 20 лет свидетельствует об устойчивых тенденциях роста цен, что, с одной стороны, в условиях рыночных отношений является проявлением повышенного спроса на продовольственные товары (Рисунок 1).



Рис. 1. Динамика продовольственного индекса цен ФАО

Источник: составлено авторами на основе [9]

С другой стороны, является индикатором для предложения, которое, согласно теоретическим посылкам динамических моделей при устойчивом неэластичном спросе, будет объективно запаздывать. Отсюда очевидны вопросы: каким образом повысить предложение, что, в свою очередь зависит, не только от естественных природно-климатических факторов и дефицита земельных ресурсов, но и от состояния хозяйственных структур, отвечающих за обеспечение предложения на продовольственных рынках.

В частности, согласно материалам Дальневосточного экономического форума 2022 года, за последние пять лет поставки продовольствия из РФ в государства Азии выросли на 55%, Африки – на 24%. Однако, проблема предложения продовольственных товаров продолжает оставаться актуальной. Анализ ситуации на российском рынке демонстрирует более позитивную ситуацию, даже относительно внешних шоков, связанных с влиянием мировой пандемии и общего феномена деглобализации и изолированности национальных экономики, включая беспрецедентную политику экономических санкций в отношении к российской экономике (Рисунок 2.)



Рис. 2. Динамика индекса цен на продовольственные товары в экономике РФ
Источник: составлено авторами на основе [9]

Тем не менее, сравнительная характеристика, роста мирового уровня цен на продовольственные товары и в «искусственно закрытой» российской экономики свидетельствует о том, что разрыв в индексах цен превышает десятки процентных пунктов. Особенно это очевидно прослеживается за последние полгода (Рисунок 3).

В соответствии с анализом в разрыве цен, как следствия повышенного спроса и снижения предложения, следующим логическим шагом является уточнение: кто определяет доминирование объема предложения продовольственных товаров в системе национальной экономики РФ (или какие хозяйственные структуры) [14]. Исследование динамики количественных показателей по объемам выпуска сельскохозяйственной продукции приводит к очевидным выводам сохраняющейся устойчивости крупных хозяйств

в общей структуре выпуска. Следовательно, от функциональных возможностей по направлениям и организации системы производственных отношений будут зависеть, при прочих равных условиях, и объемы экспортных поставок продовольствия. Объемы экспорта произведенной сельскохозяйственной продукции, в свою очередь, повышают не только доходность хозяйственных структур и доходы госбюджета, но оказывают влияние на объем предложения на мировых рынках продовольственных товаров и на динамику индексов цен. такие структурны что темпы роста существенно выше у сельскохозяйственных организаций, которые, по факту, и составляют основу крупных форм хозяйствования, включая агрохолдинги (Рисунок 4).

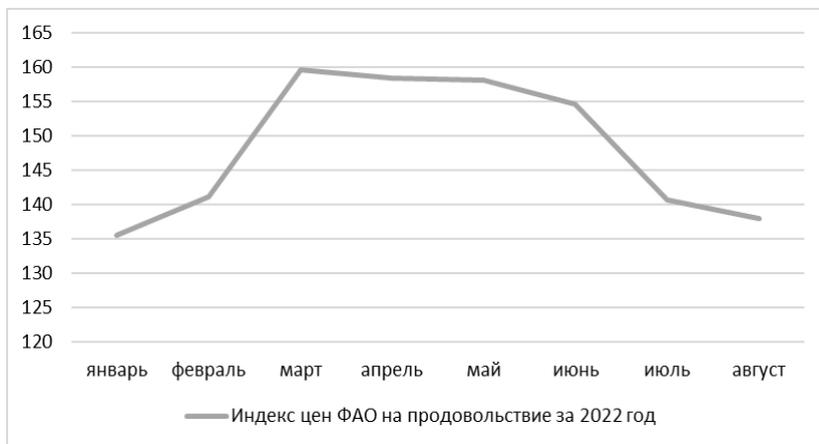


Рис. 3. Динамика продовольственного индекса цен ФАО за первые шесть месяцев 2022 г.

Источник: составлено авторами на основе [9]

Сохраняющиеся общие тренды за двадцатилетний период являются, по сути, «косвенным признаком для подтверждения авторской гипотезы не только о сохраняющихся доминантах крупных хозяйственных структур или крупного бизнеса на рынках продовольственных товаров, но и об их влияние в дальнейшем, как на объемы предложение, так и на динамику уровня цен, а, следовательно, и доступность продовольственных товаров [5]. Наблюдаемые на графике «разрывы» являются свидетельством отсутствия интегрированных данных официальной статистики за указанные годы, однако логично предположить, что, вряд ли, в указанные периоды «разрывов» общие тренды менялись.

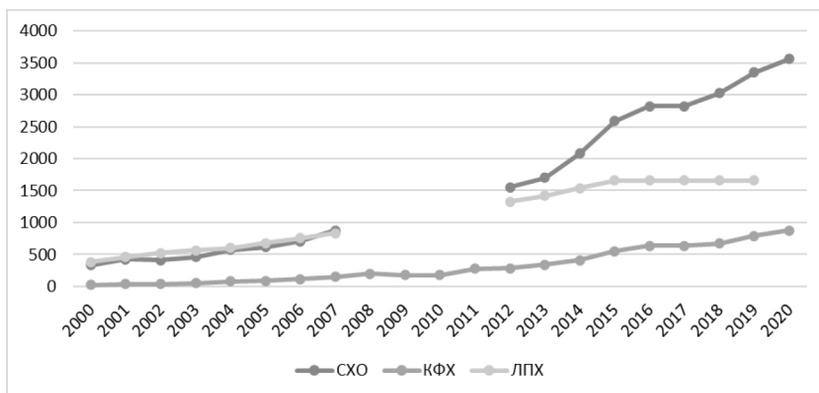


Рис. 4. Динамика объемов выпуска основных хозяйственных структур
Источник: составлено авторами на основе [9]

Дискуссия

В данном случае важно сделать также следующие уточнения: во-первых, исходя из специфики рассмотрения в качестве хозяйственных агрегатов и объектов учета официальной статистики рассматриваются три основных категории хозяйств: сельскохозяйственные организации (СХО), крестьянские (фермерские) хозяйства товарного типа (КФХ) и хозяйства населения или личные подсобные хозяйства (ЛПХ). Во-вторых, из выделяемых официальной статистикой трех основных групп категорий хозяйств, к крупным хозяйственным структурам следует относить СХО: как минимум, по таким критериям, как размер земельной площади, объемы выручки и форма юридической организации (ООО – открытые акционерные общества, ЗАО – закрытые акционерные общества). Кроме того, важно отметить, что многие СХО образованы на месте бывших крупных хозяйственных структур советского периода (колхозов и совхозов) и часто интегрированы между собой либо в небольшие конгломераты моделей замкнутого цикла: «растениеводство-животноводство-переработка-реализация» на мезоуровне отдельных регионов. Кроме того, они часто являются структурными составляющими крупных агрохолдингов, которые имеют статус системообразующих предприятий в агропромышленной сфере на макроуровне всей национальной экономики, а, следовательно, могут оказывать и институциональное влияние не только на объемы предложения на продовольственных рынках, но и на пропорции распределения государственной поддержки.

Можно также высказать гипотезу, что появление крупных хозяйственных структур явилось следствием осуществленных аграрных реформ, в ходе которых были созданы определенные условия, благоприятные для процессов концентрации [25]. Так, например, Минсельхозом РФ в конце 2020 года был утвержден перечень системообразующих организаций агропромышленного комплекса РФ, в состав которых без АО «Росагролизинг» было включено 87 хозяйственных структур. Из них: в сфере растениеводства – 16; в сфере животноводства – 31; в сфере производства пищевой продукции и напитков – 33; в сфере рыболовства – 7. Фактически все обозначенные структуры представляют собой крупные агрокорпорации или агрохолдинги, в составе которых СХО с юридическим статусом ООО, ОАО, ЗАО, АО. Так, в состав 47 хозяйственных структур в сфере растениеводства и животноводства входит около 600 хозяйственных организаций; 317 – в пищевой сфере; 67 – в сфере рыболовств [7]. На примере мини-кейса агрохолдинга АО «Фирма «Агрокомплекс» им. Н.И. Ткачева» тенденция прослеживается наиболее наглядно: в состав этого агрохолдинга, в свою очередь, входит 24 крупных хозяйственных структуры с юридическим статусом ООО, АО и ЗАО. А учитывая, что, например, после очередной крупной сделки в 2022 году, данный агрохолдинг стал вторым по стране среди крупнейших землевладельцев с размером земельного банка 1,1 млн. При этом, уже на 2022 год данный агрохолдинг «занимает второе место в стране по производству молока, четвертое – по мясу, пятое – по сахару. В 2021 году выручка выросла на 25,4%, до 71,81 млрд руб. Чистая прибыль увеличилась более чем в три раза, до 8,6 млрд руб». [4].

Если сравнить официальные данные Всероссийской сельскохозяйственной переписи (ВСХП) 2016 и 2021 года, то мы тоже увидим процессы укрупнения при постепенном численном сокращении малого бизнеса, представленного такими хозяйственными структурами, как КФХ и хозяйства населения. Так, например, согласно ВСХП 2016 года в системе российского АПК было представлено 36,1 тыс. СХО; 174,8 тыс. КФХ и ИП (из них 78% - это КФХ и 22% - это ИП); 23,5 млн ЛПХ и других индивидуальных хозяйств [1]. По результатам сельскохозяйственной микропереписи (СХМП) по РФ в 2021 году было отмечено 34,4 тыс. СХО; 123,2 тыс КФХ и ИП (из них: 73% - это КФХ и 17% - ИП; более 16,6 млн ЛПХ и других индивидуальных хозяйств [12]. Однако, даже у КФХ наблюдаются серьезные процессы укрупнения: так размер земельной площади увеличился почти в два раза: с 256,3 га в 2016 году до 476,8 га в 2021 году в то время, как у ЛПХ площадь земельных участков осталась почти без изменений:

0,5 га было зафиксировано в среднем на одно хозяйство в 2016 году и 0, 6 га – в 2021 году. СХО сохранили статус крупных хозяйств, учитывая, что в 2016 году площадь сельскохозяйственных земель составляла 5 885,1 га на одно хозяйство. В 2021 году размеры земельных площадей в расчете на одно хозяйство увеличились до 6 353,4 га на одно хозяйство.

Если осуществить сравнительный анализ за последнее десятилетие, то можно увидеть, что крупный бизнес прочно сохраняет свою долю в структуре производства более 50% (Рисунок 5).



Рис. 5. Доля разных типов хозяйств в общей структуре продукции сельского хозяйства (в процентах от хозяйств всех категорий)

Источник: составлено автором на основе данных официальной статистики [11].

Если взять во внимание доминирующее проявление на национальную экономику влияния внешних факторов геополитического направления, то можно заметить, что существенного влияния на соотношение позиций на продовольственных рынках крупных и мелких хозяйственных структур, они не оказали. Это подтверждается тем, что сохраняются лидирующие позиции в структуре производства крупных хозяйственных структур. Во-вторых, темп прироста СХО и КФХ, например, на отрезке в пятилетний период: с 2015 г. по 2020 год остались практически на одном уровне: доля СХО в структуре производства увеличилась на 4 процентных пункта (с 54% до 58%), а доля КФХ – только на 3 процентных пункта (с 11% до 14%) на фоне снижения доли личных подсобных хозяйств в общей структуре производства (с 35 % до 28%).

Поэтому проанализированные результаты трансформации хозяйственных структур в агропромышленной сфере экономики РФ свидетельствуют: во-первых, о значительной рыночной власти крупных хозяйственных

структур на рынке продовольственных товаров. Во-вторых, внесение крупнейших агрохолдингов в список системообразующих предприятий агропромышленной сферы национальной экономики «можно рассматривать в качестве институциональных факторов для дальнейшего «продвижения» и развития крупных форм хозяйствования» [20]. Однако важно отметить, что малый бизнес или малые формы хозяйствования, помимо производственной функции выполняют и социально-культурные функции, которые при наблюдаемых процессах дезурбанизации проявляются в повышенном спросе к загородной жизни, дачным хозяйствам, в трендах популяризации спроса на качество жизни и здоровое питание, а вместе с тем эволюции экономических интересов от максимизации доходности в сторону производства экологичной садово-ягодной продукции, овощей.

Заключение

Таким образом, становятся очевидными две основные тенденции: во-первых, это общие процессы концентрации, включая концентрацию земельных площадей в руках крупных собственников, что постепенно приводит к устойчивому характеру модели несовершенной конкуренции: когда крупные агрокорпорации, фактически, представляют собой частные случаи олигополий на рынках сельскохозяйственной продукции, определяя многовекторность экономической политики со стороны государства и общие тренды развития сельского хозяйства.

Во-вторых, по сути, продовольственные рынок, а, значит, и состояние продовольственной безопасности попадают в зависимость от крупных хозяйственных структур, поскольку они доминируют в структуре сельскохозяйственного производства и обладают устойчивой рыночной властью. Вместе с тем, учитывая, что спецификой последних лет становится преобладание влияния со стороны экзогенных факторов на развитие всей аграрной сферы национальной экономики, есть основания утверждать, что внешние шоки в качестве затянувшегося процесса мировой пандемии могут сыграть положительный эффект для устойчивого развития малых хозяйственных структур. Это связано, в первую очередь с повышенными запросами потребителей на фермерскую продукцию в целях поддержания и сохранения качества жизни. Отсюда, можно предположить, что вектор внимания будет смещаться к малым формам хозяйствования не только со стороны потребителей, но и со стороны государственных институтов, обеспечивая баланс интересов между малыми и крупными формами хозяйствования в долгосрочном периоде развития при сохранении доминантного положения крупных хозяйств.

В этой связи, допустимо прогнозировать следующие варианты сценарного моделирования системы функционирования хозяйственными структурами на продовольственных рынках:

- консервативно-инерционный сценарий, который предполагает дальнейшую концентрацию и олигополизацию хозяйственных структур, что неизбежно приведет к необходимости государственного вмешательства со всеми закономерными последствиями эффектов прямого регулирования ценами в рыночной экономике;
- опорно-базовый сценарий, согласно которому поддерживаются существующие пропорции в структуре сельскохозяйственного производства со стороны крупных и малых форм хозяйствования, что при статичности макроэкономической обстановки отсутствия дополнительных внешних вызовов способно обеспечить выполнение основных целевых показателей по продовольственной безопасности;
- динамично-оптимистический сценарий предполагает, что сочетание феномена влияния мировой пандемии с совершенствованием инструментов государственной поддержки для малых форм хозяйствования позволят повысить уровень конкурентности при производстве сельскохозяйственной продукции и найти малому бизнесу новые локальные ниши, обеспечивающие таким хозяйственным структурам получение целевой прибыли, а потребителем – восполнение реализации частных потребностей. Кроме того, в данном случае адаптирование и использование цифровых технологий малыми хозяйственными структурами позволит решить проблему реализации своей продукции и тем самым «обойти» преграды монополизированных торговых сетей, используя цифровые платформы по модели: «производство качественной продукции – поиск точечного потребителя – авторское брендирование качества продукции- устойчивость в занимаемой нише».

Список литературы

1. Всероссийская сельскохозяйственная перепись 2016 года. Предварительные итоги: Статистический бюллетень / Федеральная служба государственной статистики. М: ИИЦ «Статистика России» 70 с. <https://rosstat.gov.ru/519>
2. Клейнер Г. Б. Системный подход к стратегии предприятия // Современная конкуренция. 2009. №1. С. 100–118.
3. Клейнер Г.Б. Экономика. Моделирование. Математика. Избранные труды / Г. Б. Клейнер; Российская академия наук, Центральный экономико-математический институт РАН, 2016. 856 с. http://www.cemi.rssi.ru/publication/newbooks/Econ-Mod-Math/Kleiner_EMMbook2016.pdf

4. Костырев А. Агрохолдинг Александра Ткачева приблизился к статусу крупнейшего латифундиста / Официальный сайт ИД «Коммерсантъ». <https://www.kommersant.ru/doc/5558827>
5. Максимова Т. П. Экономические эффекты, особенности и возможные тренды трансформации форм хозяйствования в системе АПК в условиях современных вызовов // Научные труды Вольного экономического общества России. 2021. Т. 230. № 4. С. 303–309.
6. Норт Д. Институты, институциональные изменения и функционирование экономики. М.: Фонд экономической книги «Начала». 1997. 180 с. <http://cee-moscow.com/doc/izd/North.pdf>
7. Перечень системообразующих предприятий агропромышленного комплекса РФ / Официальный сайт Министерства сельского хозяйства Российской Федерации. <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/51e/51eaa8c80ceff7be0fdb499a9fbd75a5.pdf>
8. Положение дел в области продовольственной безопасности и питания в мире / Официальный сайт Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных наций. <https://www.fao.org/publications/sofi/2022/ru/>
9. Положение с продовольствием в мире / Официальный сайт Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных наций. <https://www.fao.org/worldfoodsituation/foodpricesindex/ru/>
10. Сделайте здоровое питание привычкой / Официальный сайт Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных наций. <https://www.fao.org/resources/digital-reports/school-nutrition/ru/>
11. Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство / Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy
12. Сельскохозяйственная микроперепись 2021 года СХМП-2021 / Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/oper_itogi_SXMP_2021.pdf
13. Чайнов А.В. Крестьянское хозяйство. Избранные труды. М.: Экономика, 1989. 492 с.
14. Amirova N.R., Sargina L.V. Disparity as a factor underlying the current downturn in Russia's agrarian economy // International Journal of Economic Research, 2016, vol. 13 (9), pp. 3747-57.
15. Bachev H. Structures for Organization of Transactions in Bulgarian // Agriculture Journal of the Faculty of Agriculture of Kyushu University, 2001, vol. 46. (1), pp. 123–151. https://api.lib.kyushu-u.ac.jp/opac_download_md/24429/p123.pdf
16. Belousova M., Aleshko R., Zakieva R., Karabasheva M., Gorovoy S., Kozhemov S. Development of equipment management system with monitoring of working

- characteristics of technological processes // *Journal of Applied Engineering Science*, 2021, vol. 19(1), pp. 186-192. <https://doi.org/10.5937/jaes0-28855>
17. Filipovic S. Modern approach to standardization of higher education of engineers // *Journal of Quality and System Engineering*, 2022, vol. 1, no. 1, 26-29.
 18. Kolupaev A.A., Voronkova O.Y., Vakhrushev I.B., Adamenko A.A., Solodkin V.S., Alekhina N.A. Corporate identity of lodging establishment as a factor of increasing tourism activity in the region // Paper presented at the Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019: Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020, 2019, pp. 7948-7956.
 19. Knickel R., Renting H. Methodological and Conceptual Issues in the Study of Multifunctionality and Rural Development // *Sociologia Rurali*, 2000, vol. 40, pp. 512–528. <https://doi.org/10.1111/1467-9523.00164>
 20. Maksimova T.P., Bondarenko T.G., Zhdanova O.A., Harutyunyan G.H. Developmental factors of agricultural consumer credit cooperatives as an alternative financial institute for Russian agroindustrial complex // In *Scientific Papers. Series: Management, Economic Engineering and Rural Development*, 2020, vol. 20, issue 3, pp. 353-359.
 21. Meurs M. Agriculture in Transition: Land Policies and Evolving Farm Structures in Post-Soviet Countries // *Comparative Economic Studies*, 2005, vol. 47(3), pp. 582-585. https://openscholar.huji.ac.il/sites/default/files/agri_economics/files/lerman_ch1intro.pdf
 22. Pogosyan V.G. Problem of innovations diffusion: A historical retrospective // *Voprosy Istorii*, 2021, vol. 2021(5-2), pp. 24-32. <https://doi.org/10.31166/Voprosy-Istorii202105Statyi30>
 23. Saenko N., Nyanga Gakosso C., Mezhlumyan N., Smirnov A., Rogulin R. Analysis of approaches to the formation of economic mechanisms of supply chain management // *Foresight*, 2021, vol. 23(5), pp. 583-596. <https://doi.org/10.1108/FS-10-2020-0111>
 24. Shagaida N.I. Assessing the size of agricultural holdings // *Voprosy Ekonomiki*, 2020, vol. 10, pp. 105-116. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/941/1/012002>
 25. Sokolnikova I.V. The impact of state reforms on the Russian Federation's agriculture // Proceedings of the 35th International Business Information Management Association (IBIMA) 01-02 April 2020, Seville, pp. 6155-6611.
 26. Stoianova A., Vasilyeva N. Production process data as a tool for digital transformation of metallurgical companies. 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81619-3_87
 27. Strugar V. The complexity of the modern DNO business - the importance of maintaining IMS and ICT support // *Journal of Quality and System Engineering*, 2022, vol. 1, no. 1, pp. 1-10.

28. Tran D., Pham V., Le D., Bui T. A study on influence of environmental working conditions on wear of a ball screw based on TCVN7699-2-30 // Journal of Applied Engineering Science, 2022, vol. 20(2), pp. 372-376. <https://doi.org/10.5937/jaes0-32506>
29. Uzun V.Y. Bankruptcy of the agricultural holding: Causes, consequences, lessons (The case of “Eurodon”) // Voprosy Ekonomiki, 2020, vol. 10, pp. 117-131. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/941/1/012002>
30. Zamyatin E., Voytyuk I., Zamyatina E. Increasing the energy efficiency of an enterprise by point compensating of power quality distortions // Paper presented at the E3S Web of Conferences, 2019, vol. 140. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/201914004010>

References

1. All-Russian agricultural census 2016. Preliminary results: Statistical Bulletin / Federal State Statistics Service. M: IITs «Statistika Rossii», 70 p. <https://rosstat.gov.ru/519>
2. Kleyner G.B. *Sovremennaya konkurentsya*, 2009, no. 1, pp. 100–118.
3. Kleyner G.B. *Ekonomika. Modelirovanie. Matematika. Izbrannyye trudy* [Economics. Modeling. Mathematics. Selected works]. M.: TsEMI RAN, 2016, 856 p. http://www.cemi.rssi.ru/publication/newbooks/Econ-Mod-Math/Kleiner_EMMbook2016.pdf
4. Kostyrev A. Agroholding Alexander Tkachev approached the status of the largest latifundist / Official website of the Kommersant Publishing House. <https://www.kommersant.ru/doc/5558827>
5. Maksimova T.P. *Nauchnye trudy Vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva Rossii*, 2021, vol. 230, no. 4, pp. 303–309.
6. Nort D. *Instituty, institutsional'nye izmeneniya i funktsionirovanie ekonomiki* [Institutions, institutional changes and functioning of the economy]. M.: Fond ekonomicheskoy knigi «Nachala». 1997, 180 p. <http://cee-moscow.com/doc/izd/North.pdf>
7. List of backbone enterprises of the agro-industrial complex of the Russian Federation / Official website of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation. <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/51e/51eaa8c80ceff7be0fdb499a9fbd75a5.pdf>
8. State of affairs in the field of food security and nutrition in the world / Official website of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/publications/sofi/2022/ru/>
9. Food situation in the world / Official website of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/worldfoodsituation/food-pricesindex/ru/>

10. Make healthy eating a habit / Official website of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/resources/digital-reports/school-nutrition/ru/>
11. Agriculture, hunting and forestry / Official website of the Federal State Statistics Service. https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy
12. Agricultural micro-census 2021 SHMP-2021 / Official website of the Federal State Statistics Service. https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/oper_itogi_SXMP_2021.pdf
13. Chayanov A.V. *Krest'yanskoe khozyaystvo. Izbrannye trudy* [Peasant economy. Selected Works]. M.: Ekonomika, 1989, 492 p.
14. Amirova N.R., Sargina L.V. Disparity as a factor underlying the current downturn in Russia's agrarian economy. *International Journal of Economic Research*, 2016, vol. 13 (9), pp. 3747-57.
15. Bachev H. Structures for Organization of Transactions in Bulgarian. *Agriculture Journal of the Faculty of Agriculture of Kyushu University*, 2001, vol. 46. (1), pr. 123–151. https://api.lib.kyushu-u.ac.jp/opac_download_md/24429/p123.pdf
16. Belousova M., Aleshko R., Zakieva R., Karabasheva M., Gorovoy S., Kozhemov S. Development of equipment management system with monitoring of working characteristics of technological processes. *Journal of Applied Engineering Science*, 2021, vol. 19(1), pp. 186-192. <https://doi.org/10.5937/jaes0-28855>
17. Filipovic S. Modern approach to standardization of higher education of engineers. *Journal of Quality and System Engineering*, 2022, vol. 1, no. 1, 26-29.
18. Kolupaev A.A., Voronkova O.Y., Vakhrushev I.B., Adamenko A.A., Solodkin V.S., Alekhina N.A. Corporate identity of lodging establishment as a factor of increasing tourism activity in the region. Paper presented at the *Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019: Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020*, 2019, pp. 7948-7956.
19. Knickel R., Renting H. Methodological and Conceptual Issues in the Study of Multifunctionality and Rural Development. *Sociologia Rurali*, 2000, vol. 40, pr. 512–528. <https://doi.org/10.1111/1467-9523.00164>
20. Maksimova T.P., Bondarenko T.G., Zhdanova O.A., Harutyunyan G.H. Developmental factors of agricultural consumer credit cooperatives as an alternative financial institute for Russian agroindustrial complex. In *Scientific Papers. Series: Management, Economic Engineering and Rural Development*, 2020, vol. 20, issue 3, pp. 353-359.
21. Meurs M. Agriculture in Transition: Land Policies and Evolving Farm Structures in Post-Soviet Countries. *Comparative Economic Studies*, 2005, vol. 47(3), pp.

- 582-585. https://openscholar.huji.ac.il/sites/default/files/agri_economics/files/lerman_ch1intro.pdf
22. Pogosyan V.G. Problem of innovations diffusion: A historical retrospective. *Voprosy Istorii*, 2021, vol. 2021(5-2), pp. 24-32. <https://doi.org/10.31166/VoprosyIstorii202105Statyi30>
 23. Saenko N., Nyanga Gakosso C., Mezhlumyan N., Smirnov A., Rogulin R. Analysis of approaches to the formation of economic mechanisms of supply chain management. *Foresight*, 2021, vol. 23(5), pp. 583-596. <https://doi.org/10.1108/FS-10-2020-0111>
 24. Shagaida N.I. Assessing the size of agricultural holdings. *Voprosy Ekonomiki*, 2020, vol. 10, pp. 105-116. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/941/1/012002>
 25. Sokolnikova I.V. The impact of state reforms on the Russian Federation's agriculture. *Proceedings of the 35th International Business Information Management Association (IBIMA) 01-02 April 2020*, Seville, pp. 6155-6611.
 26. Stoianova A., Vasilyeva N. Production process data as a tool for digital transformation of metallurgical companies. 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81619-3_87
 27. Strugar V. The complexity of the modern DNO business - the importance of maintaining IMS and ICT support. *Journal of Quality and System Engineering*, 2022, vol. 1, no. 1, pp. 1-10.
 28. Tran D., Pham V., Le D., Bui T. A study on influence of environmental working conditions on wear of a ball screw based on TCVN7699-2-30. *Journal of Applied Engineering Science*, 2022, vol. 20(2), pp. 372-376. <https://doi.org/10.5937/jaes0-32506>
 29. Uzun V.Y. Bankruptcy of the agricultural holding: Causes, consequences, lessons (The case of "Eurodon"). *Voprosy Ekonomiki*, 2020, vol. 10, pp. 117-131. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/941/1/012002>
 30. Zamyatin E., Voytyuk I., Zamyatina E. Increasing the energy efficiency of an enterprise by point compensating of power quality distortions. Paper presented at the *E3S Web of Conferences*, 2019, vol. 140. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/201914004010>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Максимова Татьяна Павловна, доцент, к.э.н., доцент кафедры экономической теории

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова

*Стремянный переулок, 36, г. Москва, 117997, Российская Федерация
Maksimova.TP@rea.ru*

Бондаренко Татьяна Григорьевна, доцент, к.э.н., доцент кафедры финансов устойчивого развития

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова

*Стремянный переулок, 36, г. Москва, 117997, Российская Федерация
Bondarenko.TG@rea.ru*

Жданова Ольга Александровна, к.э.н., доцент кафедры финансов устойчивого развития

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова

*Стремянный переулок, 36, г. Москва, 117997, Российская Федерация
Zhdanova.OA@rea.ru*

Проданова Наталья Алексеевна, доцент, д.э.н., профессор Базовой кафедры финансового контроля, анализа и аудита Главного контрольного управления города Москвы

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова

*Стремянный переулок, 36, г. Москва, 117997, Российская Федерация
Prodanova.NA@rea.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Tatiana P. Maksimova, Docent, PhD in Economics, Associate Professor of the Department of Economic Theory

Plekhanov Russian University of Economics

36, Stremyanny lane, Moscow, 117997, Russian Federation

Maksimova.TP@rea.ru
SPIN-code: 8289-7692
ResearcherID: CAG-8646-2022
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3536-9062>
Scopus Author ID: 57021239400

Tatiana G. Bondarenko Docent, PhD in Economics, Associate Professor of the Department of sustainable finance
Plekhanov Russian University of Economics
36, Stremyanny lane, Moscow, 117997, Russian Federation
Bondarenko.TG@rea.ru
SPIN-code: 6023-0543
ResearcherID: AAZ-4073-2021
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1009-5931>
Scopus Author ID: 57192673484

Olga A. Zhdanova, PhD in Economics, Associate Professor of the Department of sustainable finance
Plekhanov Russian University of Economics
36, Stremyanny lane, Moscow, 117997, Russian Federation
Zhdanova.OA@rea.ru
SPIN-code: 4434-2548
ResearcherID: N-1646-2016
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9381-6417>
Scopus Author ID: 57021458100

Natalia A. Prodanova, Docent, Doctor of Economics, Professor of the Basic Department of Financial Control, Analysis and Audit of the Main Control Department of the City of Moscow
Plekhanov Russian University of Economics
36, Stremyanny lane, Moscow, 117997, Russian Federation
Prodanova.NA@rea.ru
SPIN-code: 2085-6329
ResearcherID: AAE-8442-2019
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5140-2702>
Scopus Author ID: 57191251129

Поступила 27.09.2022

После рецензирования 07.10.2022

Принята 21.11.2022

Received 27.09.2022

Revised 07.10.2022

Accepted 21.11.2022

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научно-практический рецензируемый журнал **Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture** издается с целью пропаганды фундаментальных и фундаментально-прикладных региональных достижений в области медицины, биологии, сельского хозяйства и смежных дисциплин на территории Российской Федерации и за рубежом.

Требования к оформлению статей

Объем рукописи	7-24 страницы формата А4, включая таблицы, иллюстрации, список литературы; для аспирантов и соискателей ученой степени кандидата наук – 7-10.
Поля	все поля – по 20 мм
Шрифт основного текста	Times New Roman
Размер шрифта основного текста	14 пт
Межстрочный интервал	полutorный
Отступ первой строки абзаца	1,25 см
Выравнивание текста	по ширине
Автоматическая расстановка переносов	включена
Нумерация страниц	не ведется
Формулы	в редакторе формул MS Equation 3.0
Рисунки	по тексту
Ссылки на формулу	(1)
Ссылки на литературу	[2, с.5], цитируемая литература приводится общим списком в конце статьи в порядке упоминания

**ЗАПРЕЩАЕТСЯ ИСПОЛЬЗОВАТЬ
ССЫЛКИ-СНОСКИ ДЛЯ УКАЗА-
НИЯ ИСТОЧНИКОВ**

Обязательная структура статьи

УДК

ЗАГЛАВИЕ (на русском языке)

Автор(ы): фамилия и инициалы (на русском языке)

Аннотация (на русском языке)

Ключевые слова: отделяются друг от друга точкой с запятой (на русском языке)

ЗАГЛАВИЕ (на английском языке)

Автор(ы): фамилия и инициалы (на английском языке)

Аннотация (на английском языке)

Ключевые слова: отделяются друг от друга точкой с запятой (на английском языке)

Текст статьи (на русском языке)

1. Введение.
2. Цель работы.
3. Материалы и методы исследования.
4. Результаты исследования и их обсуждение.
5. Заключение.
6. Информация о конфликте интересов.
7. Информация о спонсорстве.
8. Благодарности.

Список литературы

Библиографический список по ГОСТ Р 7.05-2008

References

Библиографическое описание согласно требованиям журнала

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Фамилия, имя, отчество полностью, должность, ученая степень, ученое звание

Полное название организации – место работы (учебы) в именительном падеже без составных частей названий организаций, полный юридический адрес организации в следующей последовательности: улица, дом, город, индекс, страна (на русском языке)

Электронный адрес

SPIN-код в SCIENCE INDEX:

DATA ABOUT THE AUTHORS

Фамилия, имя, отчество полностью, должность, ученая степень, ученое звание

Полное название организации – место работы (учебы) в именительном падеже без составных частей названий организаций, полный юридический адрес организации в следующей последовательности: дом, улица, город, индекс, страна (на английском языке)

Электронный адрес

AUTHOR GUIDELINES

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture is a multi-field dedicated peer reviewed scientific journal designed to promote both fundamental and applied regional achievements in the field of medicine, biology, agriculture and related sciences on the territory of the Russian Federation and abroad.

Requirements for the articles to be published

Volume of the manuscript	7-24 pages A4 format, including tables, figures, references; for post-graduates pursuing degrees of candidate and doctor of sciences – 7–10.
Margins	all margins –20 mm each
Main text font	Times New Roman
Main text size	14 pt
Line spacing	1.5 interval
First line indent	1,25 cm
Text align	justify
Automatic hyphenation	turned on
Page numbering	turned off
Formulas	in formula processor MS Equation 3.0
Figures	in the text
References to a formula	(1)
References to the sources	[2, p.5], references are given in a single list at the end of the manuscript in the order in which they appear in the text

DO NOT USE FOOTNOTES
AS REFERENCES

Article structure requirements

TITLE (in English)

Author(s): surname and initials (in English)

Abstract (in English)

Keywords: separated with semicolon (in English)

Text of the article (in English)

1. Introduction.

2. Objective.

3. Materials and methods.

4. Results of the research and Discussion.

5. Conclusion.

6. Conflict of interest information.

7. Sponsorship information.

8. Acknowledgments.

References

References text type should be Chicago Manual of Style

DATA ABOUT THE AUTHORS

Surname, first name (and patronymic) in full, job title, academic degree, academic title

Full name of the organization – place of employment (or study) without compound parts of the organizations' names, full registered address of the organization in the following sequence: street, building, city, postcode, country

E-mail address

SPIN-code in SCIENCE INDEX:

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

- АКТУАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОСМЕРТНОГО
БИОМАТЕРИАЛА ДОМАШНЕГО ЯКА (BOS GRUNNIENS)
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК ИЗ КОСТНОГО МОЗГА
Д.В. Дашко, И.И. Силкин 11
- ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ
СРЕДЫ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ НАСЕКОМОГО ВИДА HERMETIA
ILLUCENS (ЧЕРНАЯ ЛЬВИНКА)
Г.В. Песцов, А.В. Третьякова, О.В. Прокудина, С.А. Бутенко 24
- МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ГЕМОЦИТОВ НИМФ И ИМАГО VLAPTICA DUBIA (SERVILLE, 1839)
Е.А. Гребцова, А.А. Прысний 41
- ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕГЕТАТИВНОЙ
НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ У ЛИЦ ПОЖИЛОГО ВОЗРАСТА
С ПОСТУРАЛЬНОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТЬЮ
Т.П. Ширяева, Д.М. Федотов, И.Н. Крайнова,
Ф. Рамирез Наваро 58
- РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СЕЛЕКЦИОННОЙ РАБОТЫ
С НАСЕКОМЫМИ ВИДА HERMETIA ILLUCENS
Г.В. Песцов, О.В. Прокудина, А.В. Третьякова, С.А. Бутенко 74

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

- ЗАВИСИМОСТЬ УРОЖАЙНОСТИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ
(TRITICUM AESTIVUM L.) ОТ ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ
УСЛОВИЙ И РАЗЛИЧНЫХ ОБРАБОТОК ПОЧВЫ В ЗОНЕ
СВЕТЛО-КАШТАНОВЫХ ПОЧВ ВОЛГО-ДОНСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ
ЮЖНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
А.Ю. Гузенко, А.В. Солонкин, А.И. Беляев,
Е.В. Семиначенко 92

- СОЗДАНИЕ БАЗЫ ГЕОДАНЫХ ГЕОМОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЛЬЕФА НА ПРИМЕРЕ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ
А.И. Павлова 125
- СКРИНИНГ БИОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ И ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ *POLEMONIUM CAERULEUM L.* ПОСЛЕ ПРИМЕНЕНИЯ КОЛХИЦИНА
Ф.М. Хазиева, И.В. Басалаева, Е.А. Коняева, А.Е. Бурова, Т.Е. Саматадзе 139
- EFFECT OF DIETARY SUPPLEMENTATION WITH FOSSIL SHELL FLOUR ON ENTERIC METHANE OUTPUT AND POSITION-DEPENDENT VARIATIONS IN DOHNE-MERINO WETHERS
О.О. Ikusika, С.Т. Mpendulo 163
- ЗДРАВООХРАНЕНИЕ
И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА**
- ИНФОРМИРОВАННОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ О КАРДИОВАСКУЛЯРНЫХ ФАКТОРАХ РАЗВИТИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ КАК РЕЗУЛЬТАТ ПРИМЕНЕНИЯ ПОПУЛЯЦИОННОЙ СТРАТЕГИИ
С.А. Федоткина, Э.В. Хугаева 178
- ГЕНДЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ И ЛИЧНОСТНОЙ ТРЕВОЖНОСТИ СПОРТСМЕНОВ-ПОДРОСТКОВ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЗАНЯТИЙ В ШКОЛЕ ЗДОРОВЬЯ)
И.Ю. Худонов, М.В. Певнева, К.Н. Ляшенко 194
- МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АКУСТИЧЕСКОЙ ИМПЕДАНСОМЕТРИИ ЛЕГКИХ
С.П. Драган, А.В. Богомолов, В.И. Кезик, С.В. Дроздов 221
- ХАРАКТЕРИСТИКА ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ПЕРЕЖИВАНИЕМ ВРЕМЕНИ И УРОВНЕМ НЕРВНО-ПСИХИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ У КУРСАНТОВ ВОЕННОГО ВУЗА
М.С. Яницкий, А.А. Утюганов, М.С. Иванов, Л.В. Фролова 243

ВНУТРЕННИЕ БОЛЕЗНИ

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ
МИКРОБИОТЫ СЛЮНЫ И ФЕКАЛИЙ У ПАЦИЕНТА
С ДЕСМИНОПАТИЕЙ T341P
В.Ю. Паульс265

АФФЕКТИВНЫЕ РАССТРОЙСТВА
У ЖЕНЩИН, ИМЕЮЩИХ ХРОНИЧЕСКУЮ
ИШЕМИЧЕСКУЮ БОЛЕЗНЬ СЕРДЦА В СОЧЕТАНИИ
С МЕТАБОЛИЧЕСКИМ СИНДРОМОМ
Р.А. Яскевич, О.Л. Москаленко284

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ И СООБЩЕНИЯ

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА, ФОРМЫ И ИЗБЫТКА
АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ НА РАЗВИТИЕ ГРИБКОВЫХ
ЗАБОЛЕВАНИЙ ПШЕНИЦЫ
**С. Диаките, Е.Н. Пакина, А. Бехзад, М. Заргар, Ф.С. Саки,
Е.В. Калабашкина, В.А. Цымбалова, Т.С. Астарханова**303

ЗЕЛЕНАЯ ТАКСОНОМИЯ
АГРАРНО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ:
ТЕКУЩИЙ СТАТУС И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ
**О.Н. Тарасова, Н.А. Проданова, Ю.К. Харакоз,
Н.Д. Георгадзе**337

ТЕНДЕНЦИИ ЭВОЛЮЦИИ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ: ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ,
СОЦИАЛЬНОЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО
И ЧЕЛОВЕЧЕСКОЕ ДОСТОИНСТВО
**В.В. Бахарев, Г.Ю. Митяшин, Е.В. Стельмашонок,
В.Л. Стельмашонок, Г.Г. Чаргазия**363

ПРЕПАРАТЫ ХОЛИНА В ЛЕЧЕНИИ
АСТЕНИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ: СОВРЕМЕННОСТЬ
И ПЕРСПЕКТИВЫ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ
И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ КЛИНИЧЕСКОГО СЛУЧАЯ)
К.Ш. Магомедова, Ю.В. Быков, Р.А. Беккер392

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

ВЗАИМОСВЯЗЬ СМЫСЛОЖИЗНЕННЫХ ОРИЕНТАЦИЙ И УЧЕБНО-ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ МОТИВАЦИИ ОРДИНАТОРОВ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОПЫТА Е.Р. Зинкевич, М.А. Коргожа, Н.А. Яцевич	435
ВЛИЯНИЕ ИММУНОМОДУЛЯТОРА ГАЛАВИТ НА РАЗВИТИЕ МЕЛАНОМЫ В16 У МЫШЕЙ Е.М. Яценко, Д.С. Барановский, М.Д. Пронкевич, Е.В. Исаева, А.Н. Смирнова, В.Н. Петров, С.А. Иванов, А.Д. Каприн	454
РАЗВИТИЕ ТОРГОВО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОТРУДНИЧЕСТВА РЕГИОНОВ СИБИРИ И СТРАН ЕАЭС НА ПРОДОВОЛЬСТВЕННОМ РЫНКЕ А.А. Быков, Д.В. Борисов, С.В. Рюмки	470
СИСТЕМА ВЗАИМОСВЯЗИ ТРАНСФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ АГРАРНЫХ СТРУКТУР И ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОЙ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ Т.П. Максимова, Т.Г. Бондаренко, О.А. Жданова, Н.А. Проданова	485
ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ	507

CONTENTS

BIOLOGICAL SCIENCES

- RELEVANCE OF THE USE OF POSTMORTEM BIOMATERIAL
OF DOMESTICATED YAK (*BOS GRUNNIENS*) TO OBTAIN STEM
CELLS FROM BONE MARROW
D.V. Dashko, I.I. Silkin 11
- STUDY OF THE INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL FACTORS
ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF THE INSECT SPECIES
HERMETIA ILLUCENS (BLACK SOLDIER FLY)
G.V. Pestsov, A.V. Tretyakova, O.V. Prokudina, S.A. Butenko 24
- MORPHOLOGICAL AND QUANTITATIVE STUDIES
OF THE HEMOCYTES IN NYMPH AND IMAGO
OF *BLAPTICA DUBIA* (SERVILLE, 1839)
E.A. Grebtsova, A.A. Prisnyi 41
- FUNCTIONAL STATE OF THE AUTONOMIC NERVOUS SYSTEM
IN ELDERLY PERSONS WITH POSTURAL INSTABILITY
**T.P. Shiryayeva, D.M. Fedotov, I.N. Krainova,
F. Ramirez Navarro** 58
- DEVELOPMENT OF METHODS OF BREEDING WORK WITH
INSECTS OF THE SPECIES *HERMETIA ILLUCENS*
G.V. Pestsov, O.V. Prokudina, A.V. Tretyakova, S.A. Butenko 74

AGRICULTURAL SCIENCES

- DEPENDENCE OF THE YIELD OF WINTER WHEAT
(*TRITICUM AESTIVUM* L.) ON SOIL AND CLIMATIC
CONDITIONS AND VARIOUS TILLAGES IN THE ZONE
OF LIGHT CHESTNUT SOILS OF THE VOLGA-DON
INTERFLUVE AREA OF THE SOUTHERN FEDERAL DISTRICT
OF THE RUSSIAN FEDERATION
A.Yu. Guzenko, A.V. Solonkin, A.I. Belyaev, E.V. Seminchenko 92

CREATION OF A GEODATABASE ON GEOMORPHOMETRIC PARAMETERS OF THE RELIEF BY THE EXAMPLE OF THE NOVOSIBIRSK REGION USING SATELLITE IMAGES A.I. Pavlova	125
SCREENING FOR BIOMORPHOLOGICAL AND CYTOGENETIC FEATURES OF POLEMONIUM CAERULEUM L. AFTER COLCHICINE APPLICATION F.M. Khazieva, I.V. Basalaeva, E.A. Konyaeva, A.E. Burova, T.E. Samatadze	139
EFFECT OF DIETARY SUPPLEMENTATION WITH FOSSIL SHELL FLOUR ON ENTERIC METHANE OUTPUT AND POSITION-DEPENDENT VARIATIONS IN DOHNE-MERINO WETHERS O.O. Ikusika, C.T. Mpendulo	163
PUBLIC HEALTH AND PREVENTIVE MEDICINE	
AWARENESS OF THE POPULATION ABOUT CARDIOVASCULAR FACTORS OF THE DEVELOPMENT OF DISEASES AS A RESULT OF THE APPLICATION OF A POPULATION STRATEGY S.A. Fedotkina, E.V. Khugaeva	178
GENDER FEATURES OF THE TEENAGE ATHLETES' LIFE QUALITY AND PERSONAL ANXIETY DYNAMICS (BY THE HEALTH SCHOOL LESSONS RESULTS) I.Yu. Khudonogov, M.V. Pevneva, K.N. Lyashenko	194
METHODOLOGICAL ASPECTS OF LUNG ACOUSTIC IMPEDANSOMETRY S.P. Dragan, A.V. Bogomolov, V.I. Kezik, S.V. Drozdov	221
CHARACTERISTICS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE EXPERIENCE OF TIME AND THE LEVEL OF NEURO-MENTAL STRESS IN MILITARY UNIVERSITY CADETS M.S. Yanitsky, A.A. Utyuganov, M.S. Ivanov, L.V. Frolova	243

INTERNAL MEDICINE

CHANGE CHARACTERISTICS IN SALIVA
AND FECES MICROBIOTA OF A DESMINOPATHY
T341P PATIENT

V.Yu. Pauls265

AFFECTIVE DISORDERS IN WOMEN
WITH ARTERIAL HYPERTENSION IN COMBINATION
WITH METABOLIC SYNDROME

R.A. Yaskevich, O.L. Moskalenko284

SCIENTIFIC REVIEWS AND REPORTS

IMPACTS OF CLIMATE CHANGE,
FORMS, AND EXCESS OF NITROGEN FERTILIZERS
ON THE DEVELOPMENT OF WHEAT FUNGAL DISEASES

**S. Diakite, E.N. Pakina, A. Behzad,
M. Zargar, F.S. Saquee, E.V. Kalabashkina,
V.A. Tsymbalova, T.S. Astarkhanova**303

GREEN TAXONOMY OF THE RUSSIAN
AGRICULTURAL COMPLEX: CURRENT STATUS
AND DIRECTIONS OF DEVELOPMENT

**O.N. Tarasova, N.A. Prodanova, Yu.K. Kharakoz,
N.D. Georgadze**337

TRENDS OF EVOLUTION OF FOOD SECURITY:
DIGITAL TRANSFORMATION, SOCIAL ENTREPRENEURSHIP
AND HUMAN DIGNITY

**V.V. Bakharev, G.Yu. Mityashin, E.L. Stelmashonok,
V.L. Stelmashonok, G.G. Chargasiya**363

CHOLINE PREPARATIONS IN THE TREATMENT
OF ASTHENIC STATES: MODERNITY AND PERSPECTIVES
(A LITERATURE REVIEW WITH A CLINICAL
CASE PRESENTATION)

K.Sh. Magomedov, Yu.V. Byko, R.A. Bekker392

INTERDISCIPLINARY RESEARCH

THE RELATIONSHIP OF MEANING-LIFE ORIENTATIONS AND EDUCATIONAL AND PROFESSIONAL MOTIVATION OF RESIDENTS WITH DIFFERENT LEVELS OF PROFESSIONAL EXPERIENCE E.R. Zinkevich, M.A. Korgozha, N.A. Yatsevich	435
EFFECTS OF THE IMMUNOMODULATOR ‘GALAVIT’ ON THE DEVELOPMENT OF B16 MELANOMA IN MICE E.M. Yatsenko, D.S. Baranovskii, M.D. Pronkevich, E.V. Isaeva, A.N. Smirnova, V.N. Petrov, S.A. Ivanov, A.D. Kaprin	454
ENSURING FOOD SECURITY THROUGH TRADE AND ECONOMIC COOPERATION BETWEEN SIBERIA AND THE EURASIAN ECONOMIC UNION A.A. Bykov, D.V. Borisov, S.V. Ryumkin	470
INTERRELATION SYSTEM OF TRANSFORMATIONAL PROCESSES OF AGRICULTURAL ECONOMIC STRUCTURES AND PROBLEMS OF SUSTAINABLE FOOD SECURITY T.P. Maksimova, T.G. Bondarenko, O.A. Zhdanova, N.A. Prodanova	485
RULES FOR AUTHORS	507

Подписано в печать 30.04.2023. Дата выхода в свет 30.04.2023. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 37,05. Тираж 5000 экз. Свободная цена. Заказ SJLSA152/023. Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии «Издательство «Авторская Мастерская». Адрес типографии: ул. Пресненский Вал, д. 27 стр. 24, г. Москва, 123557 Россия.