

ISSN 2658-6649

# Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

[www.discover-journal.ru](http://www.discover-journal.ru)



Volume 15, Number 3  
2023

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

# Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

Volume 15, Number 3  
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, № 3, 2023 / Vol. 15, No 3, 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.

Издавания, 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](mailto: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](mailto: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: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-11-25

УДК 616 .619:611.018



Научная статья | Физиология

**К ВОПРОСУ ОБ ИЗМЕНЕНИИ МОРФОЛОГИИ  
СЕЛЕЗЕНКИ ПРИ НЕМАТОДОЗАХ У МЫШЕЙ  
ПРИ ИММУНОСТИМУЛЯЦИИ**

*О.Б. Жданова, О.В. Часовских,  
О.В. Руднева, А.В. Успенский*

**Обоснование.** Изучение реакции органов иммунной системы на введение иммуномодуляторов при нематодозах является актуальным для разработки схем лечения. В настоящем исследовании особое внимание уделено органу иммуногенеза, играющим важную роль в формировании противопаразитарного иммунитета - селезенке. Также целью исследования было изучение морфологических изменений нематод: капсул личинок трихинелл (*Trichinella spiralis*) и сифаций (*Syphacia turis*).

**Материалы и методы.** В эксперименте использовали 35 нелинейных белых мышей, которые были разделены на 5 групп по 7 животных в каждой группе. Первой и второй группе вводили физиологический раствор с 0,004 мг подкожно, 3-й и 4-й вводили полиоксидоний в дозе 0,004 мг/мышь, 1-я, 3-я группа были заражена личинками трихинелл, 2 и 4 – спонтанно инвазированы сифациями, 5-я группа служила интактным контролем. Оценка протективных свойств полиоксидония на лабораторных моделях при трихинеллезе осуществлялась по определению интенсивности инвазии при постмортальных исследованиях всех групп мышц животного, а сифаций по количеству яиц в перианальных соскобах.

**Результаты исследований.** Протективная эффективность при введении полиоксидония составила 99,43%, во всей мышечной массе было обнаружено  $57 \pm 20$  личинок трихинелл/на животное, в то время как при сифациозе лишь

72%. Паренхима органа селезенки красной и белой пульпой, у здоровых животных площадь красной пульпы составила 70+5% от площади органа, а белой пульпы 26,5+5%, от массы органа. У инвазированных нематодами животных резко увеличивалась площадь белой пульпы до 50% от площади органа и более.

**Заключение.** Установлена значительная протективная активность полиоксидония (99,43%), в паразитологических исследованиях, которая сопровождалась увеличением площади лимфоидной ткани ассоциированной с кишечником. При изучении гистологических препаратов селезенки отмечено, что перестройка структуры под действием антигенов трихинелл и сифаций носит однотипный характер: изменяется соотношение красной и белой пульпы, их клеточного состава. Установлено, что у всех инвазированных животных площадь белой пульпы резко увеличилась на 60% от площади органа и более при трихинеллезе и до 50% при сифациозе. При применении полиоксидония отмечено также уменьшение яиц сифаций в контрольной группе и изменения количества и собственно распределения личинок трихинелл в различных группах мышц.

**Ключевые слова:** зоонозы; сифациоз; трихинеллез; селезенка; полиоксидоний

**Для цитирования.** Жданова О.Б., Часовских О.В., Руднева О.В., Успенский А.В. К вопросу об изменении морфологии селезенки при нематодозах у мышей при иммуностимуляции // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №3. С. 11-25. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-11-25

Original article | Physiology

## ON THE ISSUE OF CHANGING THE MORPHOLOGY OF THE SPLEEN IN NEMATODOSES IN MICE DURING IMMUNOSTIMULATION

*O.B. Zhdanova, O.V. Chassokikh,  
O.V. Rudneva, A.V. Uspensky*

**Background.** The study of the reaction of the immune system organs to the introduction of immunomodulators in nematodes is relevant for the development of treatment regimens. The purpose of the study was to examine the spleen (the organ of immunogenesis that plays an important role in the formation of immunity). In addition, the aim of the study was also to find the morphological changes of nematodes (capsules of trichinella larvae) and the features of siphatia.

**Materials and methods.** In the experiment, 35 white mice were used, which were divided into 5 groups of 7 animals in each group. The first and second groups were injected with 0.004 mg saline solution subcutaneously, the 3rd and 4th groups were injected with polyoxidonium at a dose of 0.004 mg/mouse, the 1st and 3rd groups were infected with trichinella larvae, the 2nd and 4th were spontaneously affected by syphilis, the 5th group served as control. Evaluation of the protective properties of polyoxidonium in laboratory models with trichinosis was carried out by determining the intensity of invasion during postmortem studies of all muscle groups of the animal and siphations by the number of eggs in perianal scrapings.

**Results.** The study showed protective efficacy with the introduction of polyoxidonium was 99.43%,  $57 \pm 20$  trichinella larvae / per animal were detected in the entire muscle mass, while only 72% with syphaciosis. The parenchyma of the organ of the spleen is a red-white pulp, in healthy animals the area of the red pulp was  $70 \pm 5\%$  of the area of the organ, and the white pulp was  $26.5 \pm 5\%$  of the mass of the organ. In animals infected with nematodes, the area of the white pulp increased dramatically to 50% of the organ area or more.

**Conclusion.** Significant protective activity of polyoxidonium (99.43%) was established in parasitological studies, which was accompanied by an increase in the area of lymphoid tissue associated with the intestine. When studying histological preparations of the spleen, it was noted that the restructuring of the structure under the action of trichinella and siphacia antigens is of the same type: the ratio of red and white pulp, their cellular composition changes. It was found that in all infected animals, the area of the white pulp increased dramatically by more than 60% with trichinosis and up to 50% with syphacosis of the organ area or more. The final result of this thesis was using polyoxidonium, there was also a decrease in the number of eggs in the control group and changes in the number and actual distribution of trichinella larvae in various muscle groups.

**Keywords:** zoonoses; syphaciosis; trichinosis; spleen; polyoxidonium

**For citation.** Zhdanova O.B., Chassokikh O.V., Rudneva O.V., Uspensky A.V. On the Issue of Changing the Morphology of the Spleen in Nematodoses in Mice During Immunostimulation. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 11-25. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-11-25

## Введение

Трихинеллез и сифациоз наиболее часто используются в паразитологии в качестве экспериментальных моделей для изучения реакции иммунной системы на внедрение паразита, а также при доклинических исследованиях антигельминтиков и иммуномодуляторов, применяемых в паразитологии

[1-5]. Нематоды, адаптируясь в процессе паразитирования к тканям хозяина, вызывают подавление защитных реакций организма [3-5]. Кроме того, трихинеллез, один из самых опасных гельминтозов человека и животных, широко распространен на всей территории РФ, и системы борьбы с ним постоянно совершенствуются. В этой связи становится крайне актуальным использование иммуномодуляторов, повышающих реактивность организма хозяина по отношению к специфическим паразитарным антигенам, что усиливает сопротивляемость организма, в ряде случаев это приводит к снижению, и даже к полному предотвращению заражения гельминтами [1,6,7].

Иммуномодуляторы начали применяться в гельминтологии лишь в последние десятилетия, поэтому до сих пор нет единой точки зрения на целесообразность их использования [4,5,7-9,14]. Возможность их введения довольно хорошо изучена при тканевых гельминтозах. Имеются сообщения о применении ронколейкина (рекомбинантный ИЛ2), циклоферона и иммуностимуляторов биологического происхождения (нуклеинат натрия, субалин, и др.) [7, 14, 19]. Вышеуказанные препараты, проверялись в РФ и за рубежом на экспериментальных моделях в лабораторных условиях при трихинеллезе лабораторных животных (мышей и крыс) в схемах лечения и профилактики. Также имеются данные о защитном действии иммуномодулятора полиоксидония (азоксимера бромид) [5-7, 14]. Имеются немногочисленные сообщения в области иммуноморфологии нематодозов, однако большинство этих работ посвящено изменениям в лимфоидной ткани кишечника и поперечно – полосатой мускулатуры, крови и костном мозге, поэтому детальное изучение реакции селезенки на введение иммуномодуляторов и изменения, происходящие в белой пульпе, на наш взгляд является крайне актуальным [3, 6, 7, 9-13, 15-17].

### **Цель исследования**

Учитывая вышесказанное, целью проведенного исследования было изучение морфологических изменений в структуре селезенки при трихинеллезе и сифациозе белых мышей и ряда морфометрических характеристик вышеуказанных паразитов на фоне иммунокоррекции инвазионного процесса полиоксидонием.

### **Материалы и методы исследования**

Работа проведена на базе Вятского агротехнологического университета и центра ВНИИП – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр – ВНИИЭВ им. К.И. Скрябина. Содержание и кормление животных осуществля-

ли согласно ГОСТ 33215-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур». Исследование провели на 35 беспородных белых мышках, массой  $21 \pm 3$  г, распределенных на 5 групп по 7 животных в каждой. Животным первой и второй группы вводили стерильный физиологический раствор в дозе 0,2 мл/мышь. Животным из 3-й, 4-й группы вводили полиоксидоний в дозе 0,2 мг/кг (0,004 мг/мышь), а 5-я группа была контрольная. Препараты вводили внутримышечно, двукратно с интервалом 48 часов из расчета 0,2 мл/животное, мышей первой группы заражали перорально личинками трихинелл *Trichinella spiralis* штамм ВНИИП) в дозе 40 личинок/животное, животные второй группы были спонтанно инвазированы сифациями (*Syphacia muris*). Вывод из эксперимента всех мышей производили в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных» и в соответствии с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board). При вскрытии всех животных, осматривали внутренние органы и извлекали селезенку. Осуществляли морфометрию селезенки, фрагменты которой (0,5см x 0,5см) и фиксировали в 10% забуференном формалине. От всех мышей инвазированных трихинеллами, отбирали пробы для трихинеллоскопии и пептолиза. С целью изучения морфометрических показателей капсул, методом компрессорной трихинеллоскопии (КТ) исследовали изменения капсул и личинок трихинелл, проводили подсчет количества личинок и количества яиц сифаций до и после применения препарата, которое подсчитывали при помощи перианальных соскобов. Подсчитывали количество (соотношение) живых, свернутых в спираль, подвижных личинок, и мертвых, неподвижных, расправленных. Определяли индекс капсулы (Ик) как соотношение малого диаметра капсулы (D1) к большему (D2). Гистологические препараты готовили по классической методике и окрашивали гематоксилин – эозином. На препаратах подсчитывали общее количество клеток белой и красной пульпы и описывали особенности стромы селезенки, отдельно подсчитывали процентное содержание лимфоцитов и плазматических клеток. Подсчет клеточного состава на каждом гистологическом препарате производили в 10 полях зрения, выбранных произвольным передвижением препарата, окулярной измерительной сеткой для цито-стереометрических исследований, предложенной Г.Г. Автандиловым (1991), на микроскопе МБИ – 3У42, объектив 100/1.25.OiL, окуляр WF 10x18 [1,5-7, 11,12]. Фотографии и морфоме-

трические показатели были сделаны при помощи системы Vision Bio (Epi 2014 г.) с автоматической обработкой сигнала и выводением на дисплей при увеличении микроскопа  $\times 10$ ;  $\times 200$ . Полученные данные обрабатывали с использованием пакетов программ MS Excel и Statgraphics общепринятыми методами вариационной статистики, сравнение различий между группами проводили с применением непараметрического критерия (U) Вилкоксона-Манна-Уитни. Статистически значимыми считали различия с  $p < 0,05$ . [5, 10-13].

### **Результаты исследования**

Капсулы личинок трихинелл в мышцах всех групп экспериментально зараженных мышей, имеют достаточную вариативность по морфометрическим параметрам и расселению по группам мышц (табл.1). При подсчете личинок в компрессориуме отмечали наличие личинок и капсул с элементами деструкции, которые отсутствовали у инвазированных животных без иммуностимуляции. Форма самих капсулы у инвазированных мышей практически не изменялась при иммуностимуляции, однако, наряду с овальными капсулами (ИК 0,80–0,90) находили и более вытянутые лимоновидные капсулы.

После переваривания в искусственном желудочном соке мышечной массы мышей в 1-й группе без проведения иммуностимуляции, количество личинок составило  $2014 \pm 210$ , в контрольной (5-й) группе личинки трихинелл не обнаружены, а в 3-й группе, получавших полиоксидоний, было обнаружено  $54 \pm 12$  личинок трихинелл/на животное. Расселение личинок в различных мышцах отличалось от распределения личинок при применении полиоксидония. Значительно уменьшалось их количество в мышцах головы, туловища и передних конечностей (таб.1). При исследовании перианальных соскобов у мышей с сифациозом также отметили уменьшение количества яиц сифаций (72% от первоначального количества яиц). Однако, следует отметить, что ни в случае трихинеллезной инвазии, ни сифациоза, полной элиминации паразитов не наблюдали.

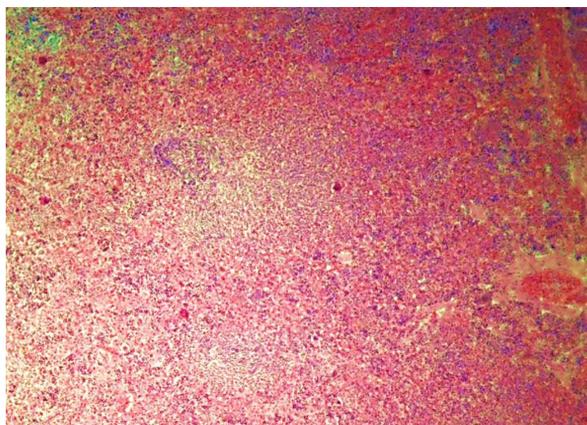
При исследовании селезенки у инвазированных мышей при иммуностимуляции и без определяли соотношение белой и красной пульпы. Белая пульпа у мышей хорошо развита, она состоит из лимфоцитов вокруг артериол, плазматических клеток, макрофагов и дендритных клеток (ДК). В контрольной группе соотношение белой пульпы к красной составило 1:3 (рис.1), в опытных группах данное соотношение изменялось, при сифациозе 1:2,8 и 1:2,6, а при трихинеллезе 1:2,1, а во 1:2,3 соответственно.

Таблица 1.

**Количество личинок трихинелл при экспериментальном трихинеллезе без иммунокоррекции и при введении полиоксидония**

Группа мышц	Среднее количество личинок в срезе при КТ	
	У мышей получавших полиоксидоний	У мышей без иммуностимуляции
Язык Жевательные	1,75±0,3	2,96±0,5
Мышцы грудной конечности	0,7±0,3	2,2±0,3
Диафрагма	1,5±0,3	4,2±0,3
Мышцы туловища	0	2,3±1,1
Мышцы задней конечности	2,85±1,0	5,7±1,1

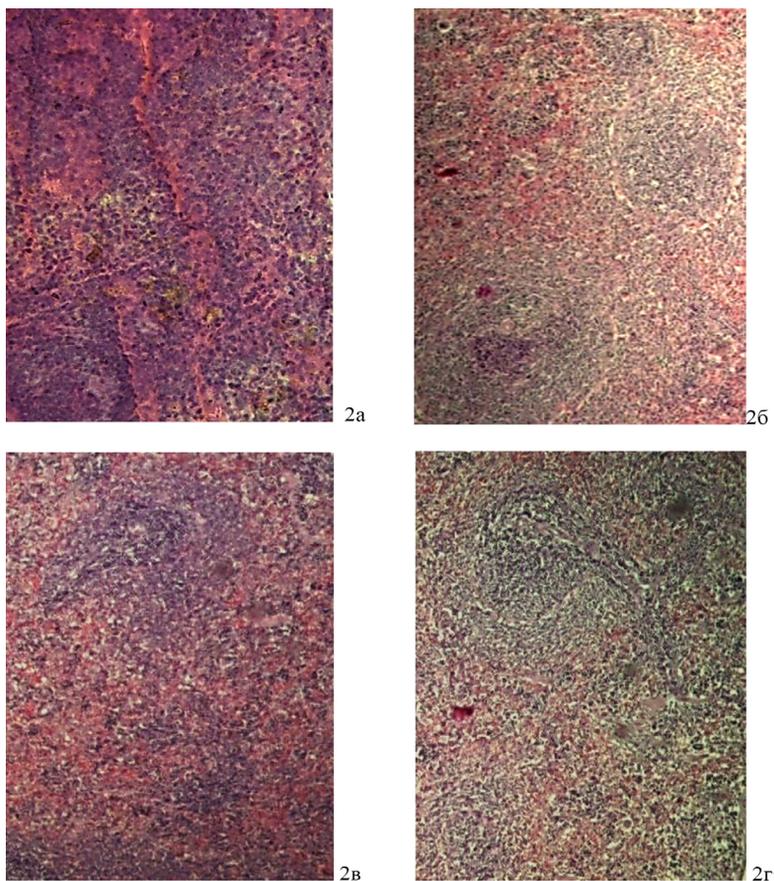
P&lt;0,5,

**Рис. 1.** Селезенка мыши контрольной группы, с преобладанием красной пульпы (гистологическое исследование ув. x40, гематоксилин-эозин)

Установлено, что у всех инвазированных животных площадь белой пульпы резко увеличилась. Увеличение составило более 60% при трихинеллезе и до 50% при сифациозе. При анализе препаратов белой пульпы у инвазированных животных, отмечали хорошо выраженные периартериальные лимфоидные влагалища (ПАЛВ), которые окружают центральные селезеночные артерии в виде скоплений лимфоидной ткани, также содержащей лимфоциты, макрофаги и ДК (рис.2 а-г). У мышей ПАЛВ являются Т-зависимой зоной селезенки, поэтому у инвазированных животных как трихинеллами, так и сифациями они хорошо выражены. По периферии ПАЛВ располагаются первичные и вторич-

ные лимфоидные узелки, которые являются скоплениями неактивированных лимфоцитов.

При гистологическом исследовании селезенки, также было отмечено увеличение клеток лимфоидного ряда у всех инвазированных животных, как с иммуностимуляцией, так и без. У всех инвазированных животных в белой и красной пульпе чаще встречаются макрофаги, кроме того при сифациозе отмечали большое количество гемосидерина (рис 2а).



**Рис. 2.** Селезенка мышей, инвазированных сифациями (2а, 2б) личинками трихинелл (2в, 2г): 2а, 2в при введении полиоксидония, 2б, 2г- без иммуностимуляции (гистологическое исследование ув. х40, гематоксилин-эозин)

Помимо изменений в соотношении площади красной и белой пульпы, также изменялся и их клеточный состав при инвазии нематодами увеличилось количество лимфоцитов как в белой, так и в красной пульпе (рис 2). В красной пульпе оно составило  $50,3 \pm 3,4$  в контрольной группе,  $58,5 \pm 0,43$  при трихинеллезе и  $53,8 \pm 3,4$  при сифациозе, коррекция полиоксидонием приводила к еще большему повышению количества лимфоцитов  $79,3 \pm 3,4$  и  $64 \pm 1,4$  соответственно. В белой пульпе наибольшее количество лимфоцитов отмечали у инвазированных трихинеллами животных без коррекции,  $82,6 \pm 2,4$ , с одновременным увеличением количества плазмоцитов до  $14,3 \pm 0,4$ . При коррекции полиоксидонием количество лимфоцитов составило  $78,9 \pm 3,51$ , а количество плазмоцитов  $12,0 \pm 0,5$ . В группе животных, инвазированных сифациями значительных изменений в лимфоцитарном составе белой пульпы не наблюдали.

### Обсуждение

У всех опытных групп животных отмечали перестройку структуры селезенки, которая носила однотипный характер под действием иммуномодулятора и личинок трихинелл. Следует отметить, что фолликулы белой пульпы под действием антигенной стимуляции нематодами во всех группах зараженных мышей разрастаются, сливаясь в крупные конгломераты лимфоидной ткани, состоящие из нескольких бывших узелков. Таким образом, анализируя реакцию лимфоидной ткани селезенки на нематодозную инвазию, значительное увеличение количества лимфоцитов и плазматических клеток было отмечено в красной пульпе, в то время как белая пульпа в большей степени реагировала увеличением своего объема, что согласуется и с предшествующими исследованиями [8]. Отмечали, что макрофаги присутствуют как в первичных, так и во вторичных лимфоидных узелках, известно, что они фагоцитируют апоптотические В-клетки и комплексы антиген-антитело попавшие в селезенку [6, 14-16]. Помимо иммуномодуляторов также ряд противопаразитарных препаратов (Адвокат® и Инспектор Тотал К® и др.) достоверно увеличивают в селезенке количество активированных лимфоцитов, плазматических клеток, макрофагов и эозинофилов на фоне снижения малых форм лимфоцитов, что характерно для развития реакции повышенной активации в организме в ответ на действие препаратов [6, 14, 15]. Избыточная активация лимфоцитов селезенки может приводить к гиперспленизму и вызывать осложнения при дегельминтизации. Данный аспект необходимо учитывать при разработке противопаразитарных мероприятий как терапевтических, так и профилактических [2, 3, 9, 10, 15-18].

### **Заключение**

Установлена относительно высокая протективная активность полиоксидония при нематодозах, сопровождающаяся изменениями в структуре селезенки. Перестройка компартментов под действием антигенов трихинелл и сифаций носит однотипный характер: изменяется соотношение красной и белой пульпы, и их клеточного состава. Фолликулы белой пульпы разрастаются, сливаясь в крупные конгломераты лимфоидной ткани, также увеличивается количество лимфоцитов и плазмоцитов. Полученные результаты также свидетельствуют о более высокой реактивности селезенки животных в ответ на инвазию трихинеллами, нежели сифациями. Введение полиоксидония в схемы дегельминтизации может предотвратить развитие гиперспленизма и возможные осложнения при применении нематодоцидных препаратов.

**Информация о конфликте интересов.** Конфликт интересов отсутствует.

**Информация о спонсорстве.** Источник финансирования научной работы и процесса публикации статьи: Государственное задание Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, № госрегистрации 122032900045–2.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность к.в.н. Окуловой И.И., с.н.с. лаборатории ветеринарии ВНИИОЗ.

### **Список литературы**

1. Автандилов Г.Г. Медицинская морфометрия: руководство. М.: Изд. «Медицина». 1990. 384 с.
2. Гонохова М.Н., Бойко Т.В., Ельцова А.А. Сравнительная цитоморфологическая характеристика селезенки крыс при воздействии пестицидов // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. С. 1056.
3. Груздева О.Н., Чихман В.Н. Структура белой пульпы селезенки и показатели периферической крови у крыс в условиях повышенной мышечной деятельности // Морфология, 1999. т. 116, вып. 6. С. 65-68.
4. Жданова О.Б., Распутин П.Г., Масленникова О.В. Трихинеллез плотоядных и биобезопасность окружающей среды // Экология человека. 2008. № 1. С. 9-11.
5. Мартусевич А.К., Жданова О.Б. Исследование зависимости кристаллогенной активности биосреды от интенсивности экспериментальной инвазии *Trichinella spiralis* // Российский паразитологический журнал. 2013. № 2. С. 64-71.

6. Окулова И.И., Березина Ю.А., Бельтюкова З.Н., Домский И.А., Беспярых О.Ю. Иммуноморфологические показатели сыворотки крови у представителей семейства Canidae после имплантации мелакрила // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13. № 5. С. 11-25.
7. Руднева О.В., Жданова О.Б., Клюкина Е.С., Написанова Л.А., Мутошвили Л.Р. Влияние комплексного иммунопрепарата на лимфоидную ткань, ассоциированную со слизистой оболочкой кишечника // *Морфология*. 2019. Т. 155. № 2. С. 243-244.
8. Сапин М.Р., Никитюк Д.Б. Иммунная система, стресс и иммунодефицит. М.: АПП «Джангар», 2000. 184 с.
9. Ставинская О.А., Добродеева Л.К., Патракеева 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.
10. Самчук М.Г., Панасенкова О.Г., Яковлева А.В., Яковлев А.А., Щелкунова И.Г. Клинический случай диагностики стронгилоидоза у пациента в хроническом критическом состоянии на фоне тяжелого поражения головного мозга // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13. № 1. С. 78-93.
11. Успенский А.В., Жданова О.Б., Андреев О.Н., Написанова Л.А., Малышева Н.С. Трихинеллоскопия туш домашних и диких животных // *Российский паразитологический журнал*. 2021. Т. 15. № 3. С. 71-75.
12. Эпидемиологический надзор за трихинеллёзом: Методические указания. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2014. 26 с.
13. Mestecky J. The common mucosal immune system and current strategies for induction of immune responses in external secretions // *Clin. Immunol*. 1987. № 7. P. 265–276.
14. Rudneva O.V., Napisanova L.A., Zhdanova O.B., Berezhko V.K. Evaluation of the protective activity of different immunostimulatory drugs at the experimental trichinosis on white mice // *International Journal of High Dilution Research*. 2018. Vol. 17. № 2. P. 17-18.
15. Tahoun A., Mahajan S., Paxton E., Malterer G., Donaldson D.S., Wang D., Tan A., Gillespie T.L., O’Shea M., Roe A.J., Shaw D.J., Gally D.L., Lengeling A., Mabbott N.A., Haas J., Mahajan A. Salmonella transforms follicle-associated epithelial cells into M cells to promote intestinal invasion // *Cell Host Microbe*, 2012. Vol. 12, No. 5. P. 645–656. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2012.10.009>
16. Tamura M., Endo Y., Kuroki Y., Ohashi N., Yoshioka T., et al. Investigation and case study of Imidacloprid insecticide caused poisoning // *Chudoku Kenkyu*. 2002. Vol. 15. P. 309-312.

17. Todani M. Acute poisoning with neonicotinoid insecticide acetamiprid / Todani M., Kaneko T., Hayashida H., Kaneda K., Tsuruta R., Kasaoka S., Maekawa T. // *Chudoku Kenkyu*. 2008. Vol. 21(4). P. 387-90.
18. Wu I.W., Lin J.L., Cheng E.T. Acute poisoning with the neonicotinoid insecticide imidacloprid in N-methyl pyrrolidone // *J Toxicol Clin Toxicol*. 2001. Vol. 39. P. 617–621.
19. Zhdanova O.B., Haidarova A.A., Napisanova L.A., Rossohin D., Lozhenicina O. The possibility of using trichinella spiralis as an experimental model in the field of high dilutions // *International Journal of High Dilution Research*. 2015. Vol. 14. № 2. P. 60-61.

### **References**

1. Avtandilov G.G. *Meditinskaya morfometriya: rukovodstvo* [Medical morphometry: a guide]. M.: Izd. «Meditsina», 1990, 384 p.
2. Gonokhova M.N., Boyko T.V., El'tsova A.A. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2013, no. 6, pp. 1056.
3. Gruzdeva O.N., Chikhman V.N. *Morfologiya*, 1999, vol. 116, no. 6, pp. 65-68.
4. Zhdanova O.B., Rasputin P.G., Maslennikova O.V. *Ekologiya cheloveka*, 2008, no. 1, pp. 9-11.
5. Martusevich A.K., Zhdanova O.B. *Rossiyskiy parazitologicheskiy zhurnal*, 2013, no. 2, pp. 64-71.
6. Okulova I.I., Berezina Yu.A., Bel'tyukova Z.N., Domskiy I.A., Bespyatykh O.Yu. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 5, pp. 11-25.
7. Rudneva O.V., Zhdanova O.B., Klyukina E.S., Napisanova L.A., Mutoshvili L.R. *Morfologiya*, 2019, vol. 155, no. 2, pp. 243-244.
8. Sapin M.R., Nikityuk D.B. *Immunnaya sistema, stress i immunodefitsit* [Immune system, stress and immunodeficiency]. M.: APP «Dzhangar», 2000, 184 p.
9. Stavinskaya O.A., Dobrodeeva L.K., Patrakeeva V.P. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 4, pp. 209-223.
10. Samchuk M.G., Panasenkov O.G., Yakovleva A.V., Yakovlev A.A., Shchelkunova I.G. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 1, pp. 78-93.
11. Uspenskiy A.V., Zhdanova O.B., Andreyanov O.N., Napisanova L.A., Malysheva N.S. *Rossiyskiy parazitologicheskiy zhurnal*, 2021, vol. 15, no. 3, pp. 71-75.
12. *Epidemiologicheskiy nadzor za trikhinellezom: Metodicheskie ukazaniya* [Epidemiological surveillance of trichinosis: Guidelines]. M.: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2014, 26 p.
13. Mestecky J. The common mucosal immune system and current strategies for induction of immune responses in external secretions. *Clin. Immunol.*, 1987, no. 7, pp. 265–276.

14. Rudneva O.V., Napisanova L.A., Zhdanova O.B., Berezhko V.K. Evaluation of the protective activity of different immunostimulatory drugs at the experimental trichinosis on white mice. *International Journal of High Dilution Research*, 2018, vol. 17, no. 2, pp. 17-18.
15. Tahoun A., Mahajan S., Paxton E., Malterer G., Donaldson D.S., Wang D., Tan A, Gillespie T.L., O'Shea M., Roe A.J., Shaw D.J., Gally D.L., Lengeling A., Mabbott N.A., Haas J., Mahajan A. Salmonella transforms follicle-associated epithelial cells into M cells to promote intestinal invasion. *Cell Host Microbe*, 2012, vol. 12, no. 5, pp. 645–656. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2012.10.009>
16. Tamura M., Endo Y., Kuroki Y., Ohashi N., Yoshioka T., et al. Investigation and case study of Imidacloprid insecticide caused poisoning. *Chudoku Kenkyu*, 2002, vol. 15, pp. 309-312.
17. Todani M. Acute poisoning with neonicotinoid insecticide acetamiprid / Todani M., Kaneko T., Hayashida H., Kaneda K., Tsuruta R., Kasaoka S., Maekawa T. *Chudoku Kenkyu*, 2008, vol. 21(4), pp. 387-90.
18. Wu I.W., Lin J.L., Cheng E.T. Acute poisoning with the neonicotinoid insecticide imidacloprid in N-methyl pyrrolidone. *J Toxicol Clin Toxicol.*, 2001, vol. 39, pp. 617–621.
19. Zhdanova O.B., Haidarova A.A., Napisanova L.A., Rossohin D., Lozhenicina O. The possibility of using trichinella spiralis as an experimental model in the field of high dilutions. *International Journal of High Dilution Research*, 2015, vol. 14, no. 2, pp. 60-61.

### **ВКЛАД АВТОРОВ**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

### **AUTHOR CONTRIBUTIONS**

The authors contributed equally to this article.

### **ДАнные ОБ АВТОРАХ**

**Жданова Ольга Борисовна**, д.б.н., профессор кафедры физиологии Вятский ГАГУ; с.н.с. ВНИИП - филиала ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН Вятский ГАГУ; Всероссийский научно-исследовательский институт фундаментальной и прикладной паразитологии животных и растений - филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук»

*пр. Октябрьский, 133, г. Киров, 610017, Российская Федерация; ул. Б. Черемушкинская, 28, 117218, г. Москва, Российская Федерация  
jdanova@vniigis.ru*

**Часовских Ольга Владимировна**, к.в.н., доцент, кафедры физиологии  
*Вятский ГАТУ  
пр. Октябрьский, 133, г. Киров, 610017, Российская Федерация  
beoli@mail.ru*

**Руднева Ольга Вячеславовна**, к.в.н., с.н.с.  
*Всероссийский научно-исследовательский институт фундаментальной и прикладной паразитологии животных и растений - филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.П. Коваленко Российской академии наук»  
ул. Б. Черемушкинская, 28, 117218, г. Москва, Российская Федерация  
rudneva.olga79@gmail.com*

**Успенский Александр Витальевич**, член-корр. РАН, зав. лабораторией паразитарных зоонозов  
*Всероссийский научно-исследовательский институт фундаментальной и прикладной паразитологии животных и растений - филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.П. Коваленко Российской академии наук»  
ул. Б. Черемушкинская, 28, 117218, г. Москва, Российская Федерация  
uspensky@vniigis.ru*

#### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Olga B. Zhdanova**, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Physiology Department, Senior Researcher  
*Vyatka State Agricultural Academy; All-Russian Scientific Research Institute for Fundamental and Applied Parasitology of Animals and Plant – a branch of the Federal State Budget Scientific Institution “Federal Scientific Centre VIEV”  
133, Oktyabrsky Ave., Kirov, 610017, Russian Federation; 28, B. Cheremushkinskaya Str., 117218, Moscow, Russian Federation*

*jdanova@vniigis.ru*

*SPIN-code: 2528-4402*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4912-8518>*

*ResearcherID: 640693*

*Scopus Author ID: 55912373700*

**Olga V. Chassokikh**, Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor

*Vyatka State Agricultural Academy*

*133, Oktyabrsky Ave., Kirov, 610017, Russian Federation*

*beoli@mail.ru*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9492-4017>*

*SPIN-code: 5503-6214*

*ResearcherID: 784585*

**Olga V. Rudneva**, Candidate of Biological Sciences; Senior Researcher

*All-Russian Scientific Research Institute for Fundamental and Applied Parasitology of Animals and Plant – a branch of the Federal State Budget Scientific Institution “Federal Scientific Centre VIEV”*

*28, B.Cheremushkinskaya Str., 117218, Moscow, Russian Federation*

*rudneva.olga79@gmail.com*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3037-3882>*

*SPIN-code: 7132-8892*

*ResearcherID: 594318*

*Scopus Author ID: 57193227710*

**Aleksandr V. Uspensky**, Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences

*All-Russian Scientific Research Institute for Fundamental and Applied Parasitology of Animals and Plant – a branch of the Federal State Budget Scientific Institution “Federal Scientific Centre VIEV”*

*28, B.Cheremushkinskaya Str., 117218, Moscow, Russian Federation*

*uspensky@vniigis.ru*

*SPIN-code: 2283-2497*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9115-9890>*

*ResearcherID: 105507*

*Scopus Author ID: 57195472164*

Поступила 28.11.2022

После рецензирования 18.12.2022

Принята 28.12.2022

Received 28.11.2022

Revised 18.12.2022

Accepted 28.12.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-26-40

УДК 57.013:57.084:612.1:616.151: 636.034



Научная статья | Физиология

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СТРЕССА НА НЕСПЕЦИФИЧЕСКУЮ РЕЗИСТЕНТНОСТЬ ОРГАНИЗМА КОРОВ

*А.В. Дерюгина, М.Н. Иващенко, В.Б. Метелин,  
Р.С. Ковылин, П.С. Игнатъев*

**Обоснование.** *Интенсификация животноводства ведет к нарушению адаптивных возможностей организма, снижению продуктивности и естественной резистентности животных. Изучение неспецифических факторов защиты организма коров позволит разработать способы повышения иммунного статуса и в качестве дополнительной информации полученные результаты могут быть использованы в селекционной работе для подбора высокорезистентных родительских пар.*

**Цель.** *Изучение клеточного и гуморального звена неспецифической резистентности при развитии стресс-реакции у крупного рогатого скота после действия технологического стресса на организм коров.*

**Материалы и методы.** *Работа проведена на 20 клинически здоровых высокопродуктивных коровах чёрно-пёстрой породы. Стрессором для коров являлась перегруппировка, смена обслуживающего персонала, проведение ветеринарно-санитарных манипуляций. Исследовали общее количество лейкоцитов, лейкограмму, бактерицидную и лизоцимную активность сыворотки крови коров стандартными клинико-лабораторными методами и морфологию лейкоцитов на сканирующем электронном микроскопе до и через 3, 14, 30 суток после технологического стресса.*

**Результаты.** *На 3-14 суток после стресса выявлены лейкоцитоз, нейтрофилез, моноцитоз и лимфопения относительно исходного уровня. При использовании высокоразрешающей микроскопии с использованием сканирующего электронного микроскопа обнаружено появление НЕТозов в крови коров после технологического стресса. Установлено снижение бактерицидной активности сыворотки на 3 сутки после стресса с последующим ее увеличением, напротив, увеличение лизоцимной на 3 сутки сопровождалось последующим*

ее снижением к 30 суткам после технологического стресса относительно исходного уровня.

**Заключение.** Полученные данные свидетельствуют о том, что защитные силы организма являются динамичным физиологическим показателем, который необходимо учитывать в качестве общей устойчивости организма крупного рогатого скота к стрессорам для предотвращения срыва адаптационных возможностей организма.

**Ключевые слова:** технологический стресс; коровы; неспецифическая резистентность; нейтрофилы

**Для цитирования.** Дерюгина А.В., Иващенко М.Н., Метелин В.Б., Ковылин Р.С., Игнатъев П.С. Влияние технологического стресса на неспецифическую резистентность организма коров // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №3. С. 26-40. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-26-40

Original article | Physiology

## INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL STRESS ON NON-SPECIFIC RESISTANCE OF THE ORGANISM OF COWS

*A.V. Deryugina, M.N. Ivashchenko, V.B. Metelin,  
R.S. Kovylin, P.S. Ignatiev*

**Background.** The intensification of animal husbandry leads to a violation of the adaptive capabilities of the body, a decrease in productivity and natural resistance of animals. The study of nonspecific factors of protection of the cow's body will allow us to develop ways to increase the immune status and as additional information can be used in breeding work for the selection of highly resistant parent pairs.

**Purpose.** The study of the cellular and humoral link of nonspecific resistance in the development of a stress reaction in cattle after the action of technological stress on the body of cows.

**Materials and methods.** The work was carried out on 20 clinically healthy highly productive black-and-white cows. The stressor for the cows was the regrouping, the change of attendants, the conduct of veterinary and sanitary manipulations. The total number of leukocytes, leukogram, bactericidal and lysozyme activity of the blood serum of cows were studied by standard clinical and laboratory methods

and the morphology of leukocytes on a scanning electron microscope before and 3, 14, 30 days after technological stress.

**Results.** On days 3-14 after stress, leukocytosis, neutrophilia, monocytosis and lymphopenia were detected relative to the initial level. When using high-resolution microscopy using a scanning electron microscope, the appearance of NEToses in the blood of cows after technological stress was detected. A decrease in the bactericidal activity of serum on the 3rd day after stress with its subsequent increase was established, on the contrary, an increase in lysozyme on the 3rd day was accompanied by its subsequent decrease by 30 days after the technological stress relative to the initial level.

**Conclusion.** The data obtained indicate that the body's defenses are a dynamic physiological indicator, which must be considered as a general resistance of the cattle body to stressors in order to prevent the disruption of the body's adaptive capabilities.

**Keywords:** technological stress; cows; non-specific resistance; neutrophils

**For citation.** Deryugina A.V., Ivashchenko M.N., Metelin V.B., Kovylin R.S., Ignatiev P.S. Influence of Technological Stress on Nonspecific Resistance of Cows. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 26-40. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-26-40

## Введение

Основными направлениями развития животноводства являются повышение генетического потенциала, связанного с увеличением продуктивности животных, и создание оптимальных условий его проявления, рост продолжительности продуктивной жизни животных, улучшение качества продукции и снижение ее себестоимости. Расширение возможностей продуктивных показателей возможно при сокращении влияния стресса на животных [3]. Эффективное управление стрессом зависит от способности идентифицировать и оценить эффекты стрессовых факторов как в краткосрочном, так и в отдаленном периоде их действия. При воздействии стресс-факторов может наблюдаться нарушение гомеостаза животных, приводящее к снижению иммунной защиты и нарушению метаболизма, что, в свою очередь, оказывает влияние либо на рост, либо на продуктивность животных и может способствовать развитию патологии, увеличить подверженность их вирусным и бактериальным агентам [13], провоцировать развитие мастита [17], сальмонеллеза [16].

Необходимо учитывать, что интенсификация животноводства и значительное повышение продуктивности животных обуславливают напряженные функции всех органов и систем организма, что, нередко, приводит к

снижению его сопротивляемости к неблагоприятным условиям окружающей среды [5, 6, 9].

Среди параметров, имеющих наибольшее значение для изучения стресс-реакции и адаптивных особенностей животных, анализ неспецифической резистентности организма является одним из ключевых, поскольку обеспечивает здоровье и продуктивность животных и, в конечном итоге, рентабельность животноводства. Актуальность проблемы резистентности значительно возрастает при выявлении тенденции повышения продуктивности животных и сокращения срока использования маточного поголовья [8]. При этом остается неизученным вопрос об интенсивности неспецифической активности защитных механизмов крови при действии стресс-факторов, в том числе, при действии технологического стресса.

Целью исследования ставилось изучение клеточного и гуморального звена неспецифической резистентности при развитии стресс-реакции у крупного рогатого скота после действия технологического стресса на организм коров.

### **Материалы и методы исследования**

Работа была поставлена на базе хозяйств Нижегородской области, где исследования проводились на 30 клинически здоровых высокопродуктивных коровах чёрно-пёстрой породы. Условия кормления и содержания животных были однотипными. Кормление животных осуществлялось в полном соответствии с нормами РАСХН, а содержание – привязное в типовых коровниках в течение всего года. Стрессором для коров являлась перегруппировка, смена обслуживающего персонала, проведение ветеринарно-санитарных манипуляций.

Исследование проводили в соответствии с требованиями Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в научных целях (ETS №123, Страсбург, 1986) и Приказа МЗ РФ № 708 Н от 28 августа 2010 г.

Во время исследования у всех подопытных животных забор крови осуществлялся до технологического стресса и через 3, 14, 30 суток после технологического стресса.

Общее количество лейкоцитов определяли методом прямой микроскопии путём подсчёта в камере Горяева, лейкограмму – в мазках, окрашенных по Романовскому – Гимза.

В крови определяли бактерицидную (БАСК), лизоцимную (ЛАСК) активность сыворотки крови. Лизоцимная активность – фотоэлектроко-

лориметрическим методом с использованием тест-культуры *Micrococcus lysodeikticus* [7]; бактерицидная активность сыворотки крови – фотонепелометрическим методом с применением тест-культуры *Escherichia coli* [7].

Исследование морфологии лейкоцитов проводили на световом микроскопе Микромед С-11 (Россия) с программой МЕКОС-Ц и на сканирующем электронном микроскопе Hitachi SU8220 (Япония). Разрешение 0,8 нм при 15 кВ, WD 4 мм 1,1 нм при 1 кВ в режиме торможения электронов.

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием программы Statistica, оценку достоверности — по критерию Стьюдента.

### Результаты исследования и их обсуждение

Неспецифическая клеточная резистентность в работе была исследована по состоянию белой крови у коров при технологическом стрессе. Было показано увеличение числа лейкоцитов после технологического стресса по сравнению с исходными значениями на 3-14 сутки исследования (табл. 1). При этом, можно говорить о развитии умеренного лейкоцитоза у коров, поскольку при сравнении числа лейкоцитов крови коров после технологического стресса с нормативными величинами их значения находились в пределах верхней границе видовой нормы. Анализ лейкоцитарной формулы, позволяющей оценить неспецифические реакции адаптации, выявил развитие нейтрофилии, моноцитоза и лимфопении, выраженные на 3 и 14 сутки после технологического стресса (табл. 1).

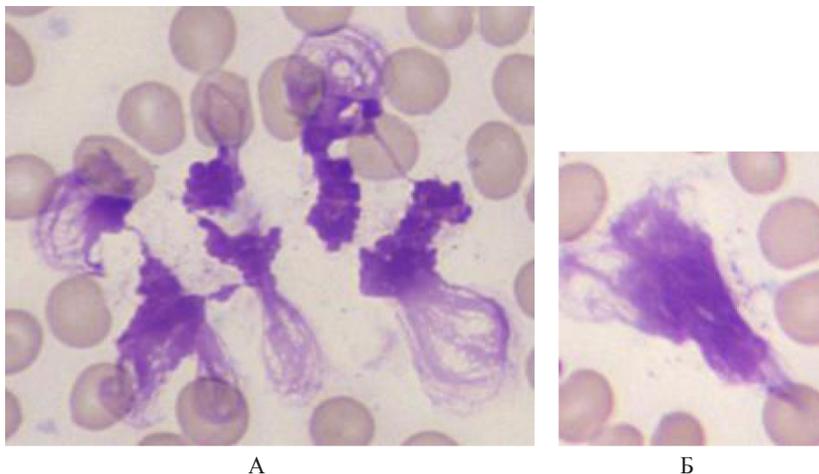
Таблица 1.

**Лейкоцитарный профиль крови коров**

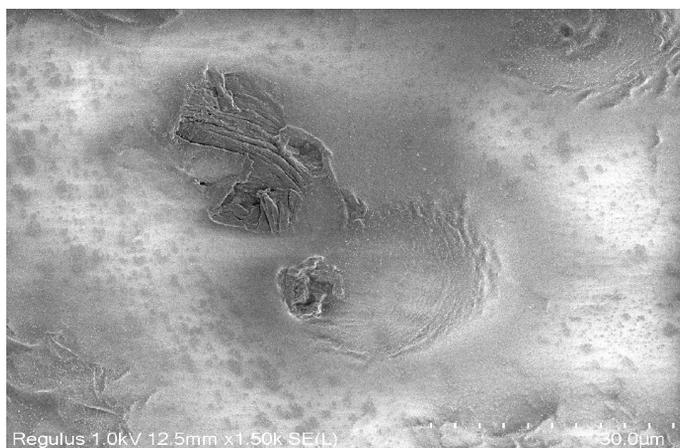
Показатель	Норма	До тех. стресса	После технологического стресса, сутки		
			3	14	30
Лейкоциты, $10^9$ , л	4,5-12,0	6,69 ± 0,84	9,88 ± 1,41 *	9,33 ± 0,65 *	6,98 ± 0,47
Нейтрофилы, %	30-36	34,61 ± 1,76	42,33 ± 3,76 *	37,00 ± 2,08 *	33,33 ± 1,76
Эозинофилы, %	5-8	5,02 ± 1,16	5,00 ± 1,00	3,00 ± 1,00	5,33 ± 0,33
Базофилы, %	0-2	1,62 ± 0,88	1,67 ± 0,33	2,33 ± 0,33	1,00 ± 0,58
Лимфоциты, %	40-65	53,33 ± 4,84	42,00 ± 3,51 *	49,67 ± 0,88	56,00 ± 2,01
Моноциты, %	2-7	5,33 ± 1,76	9,00 ± 0,58 *	8 ± 0,58 *	4,33 ± 0,67

Примечание: \* – статистически значимые различия по отношению к группе до технологического стресса ( $p < 0,05$ ).

Исследование морфологии лейкоцитов при технологическом стрессе световой и электронной микроскопией позволило выявить наличие НЕТоза у нейтрофилов (рис. 1, 2). Значимое количество НЕТозов показано на 3 сутки после технологического стресса, что визуально определялось увеличением их количества в полях зрения.



**Рис. 1.** Световая микроскопия: НЕТоз на 3 (А) и 14 (Б) сутки после технологического стресса у коров



**Рис. 2.** Сканирующая электронная микроскопия: топографическое изображение НЕТоза при технологическом стрессе у коров

Анализ интегральных показателей состояния гуморального звена неспецифической резистентности был проведен по регистрации бактерицидной и лизоцимной активности сыворотки крови (БАСК, ЛАСК) (табл. 2). Установлено, что у коров на 3 сутки после технологического стресса значительно снизилась бактерицидная активность сыворотки крови на 13,5% и увеличивалась лизоцимная активность сыворотки крови на 12,7% относительно исходных значений. К 14 суткам регистрировалось увеличение бактерицидной и лизоцимной активностей крови со снижением лизоцимной активности к 30 суткам после технологического стресса на 14,1% относительно исходного уровня.

Таблица 2.

**Бактерицидная и лизоцимная активность сыворотки крови коров**

Показатель	До тех. стресса	После технологического стресса, сутки		
		3	14	30
БАСК, %	42,33 ± 1,20	36,67 ± 0,88 *	45,67 ± 1,45 *	43,67 ± 0,67
ЛАСК, %	21,33 ± 0,88	24,04 ± 0,58 *	23,33 ± 1,33	18,33 ± 0,88 *

*Примечание:* \* – статистически значимые различия по отношению к группе до технологического стресса ( $p < 0,05$ ).

Обсуждая полученные результаты следует отметить, что лимфопения, как и нейтропения, обусловлена повышением в крови глюкокортикоидов [4], которые увеличиваются при стрессе в ответ на действие АКТГ [11, 14]. Глюкокортикоиды вызывают нейтрофилез за счет усиления поступления зрелых нейтрофилов из костного мозга в кровь. Лимфопения может быть обусловлена распадом или миграцией лимфоидных клеток. На фоне повышенного содержания нейтрофилов, наблюдается увеличение количества моноцитов, что является признаком напряженности механизмов адаптации.

О степени напряженности (уровне реактивности) реакции организма свидетельствует и соотношение лейкоцитов в лейкоцитарной формуле. Их процентное содержание, выходящее за пределы нормы, квалифицируется как «признаки напряженности» реакции: чем глубже признак напряженности или чем их больше, тем ниже уровень реактивности [2]. Отклонение показателей форменных элементов белой крови при действии технологического стресса свидетельствовало о развитии напряженности реакции организма коров на 3 – 14 сутки после технологического стресса.

Снижение бактерицидной активности сыворотки к 3 суткам и лизоцимной активности к 30 суткам так же позволяет говорить о напряжении иммунологической резистентности, изменение которой носит динамичный

характер. Уровень бактерицидной активности сыворотки крови является показателем активности фагоцитоза, а именно нейтрофилов и моноцитов. Снижение бактерицидной активности к 3 суткам сочеталось, в наших экспериментах, с проявлением НЕТозов в крови коров при технологическом стрессе. При этом классический НЕТоз представляет собой особую форму программируемой гибели клеток, для которой характерны выход компонентов гранул в цитозоль с последующей гибелью клеток [10, 12]. Однако показано, что при НЕТозе существуют также механизмы выброса ДНК, при которых нейтрофилы сохраняют свою жизнеспособность и естественные эффекторные функции [20]. Показано, что НЕТоз наблюдается в очагах инфекций и, вероятно, замедляет распространение патогенов [19]. Однако избыточное образование NET может приводить к развитию патологии, а также к нарушению кровообращения [15, 18].

Учитывая, что болезнь может возникать только при нарушении нормальной реактивности организма [1], выявленные в работе изменения неспецифической резистентности и ее снижение на 3-14 сутки после стресса необходимо учитывать при технологическом стрессе, чтобы исключить «срыва» адаптации в состояние болезни.

### **Заключение**

Согласно проведенным исследованиям технологический стресс является сильным стрессирующим фактором для коров с напряжением уровня реактивности организма на 3-14 сутки после технологического стресса и снижением лизоцимной активности к 30 суткам, что свидетельствует о напряжении иммунологической резистентности. При технологическом стрессе регистрируется появление НЕТозов. Включение неспецифических защитных механизмов коров при технологическом стрессе необходимо учитывать при содержании животных, проведении технологических и профилактических мероприятий.

**Заключение комитета по этике.** Исследование проводили в соответствии с требованиями Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в научных целях (ETS №123, Страсбург, 1986) и Приказа МЗ РФ № 708 Н от 28 августа 2010 г.

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

**Информация о спонсорстве.** Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-26-00311.

### Список литературы

1. Гаврилова Г.А., Бахметьева С.В. Неспецифическая резистентность коров, инфицированных ВЛКРС и больных лейкозом // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2005, №1 (155). С. 118-121.
2. Гаркави Л.Х., Квакуина Е.Б., Кузьменко Т.С., Шихлярова А.И. Антистрессорные реакции и активационная терапия. Реакция активации как путь к здоровью через процессы самоорганизации. – Екатеринбург: РИА «Филантроп», 2002. Т.1. 196 с.
3. Действие низкоинтенсивного лазерного излучения на показатели красной крови интактного и альтерированного организма / Дерюгина А.В., Иващенко М.Н., Игнатьев П.С., Самоделкин А.Г., Корягин А.С., Таламанова М.Н., Скворцова Г.А., Сидей К.Р., Белов А.А. // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2018. №3. С. 14-20. <https://doi.org/10.26155/vet.zoo.bio.201904011>
4. Диагностические возможности электрофоретической подвижности эритроцитов и клеток буккального эпителия при стрессе / Дерюгина А.В., Иващенко М.Н., Игнатьев П.С., Самоделкин А.Г., Золотова М.В., Шабалин М.А., Грачева Е.А. // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. 2019. Т. 63. №1. С. 106-111. <https://doi.org/10.25557/0031-2991.2019.01.106-111>
5. Карамасева А.С. Связь показателей молочной продуктивности и естественной резистентности организма животных // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 1. С. 87–91.
6. Коровин А. В. Влияние сезона года на естественную резистентность коров молочных пород // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. № 1. С. 99–102.
7. Методические рекомендации по оценке и коррекции неспецифической резистентности животных рассмотрены, одобрены и рекомендованы к изданию секцией «Патология, фармакология и терапия» отделения ветеринарной медицины РАСХН (протокол № 2 от 8 июня 2005 г.), Воронеж. – 2005. – С. 18-31.
8. Прошина О.В., Лоскутов Н.А. Воспроизводство стада: потерянная страница // Животноводство России. 2011. № 9. С. 40-41.
9. Шкуратова И. А. Эколого-биологические особенности крупного рогатого скота в условиях техногенеза // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2015. № 2. С. 366–369.
10. D’Cruz A.A., Speir M., Bliss-Moreau M., Dietrich S., Wang S., Chen A.A., Gaviilet M., Al-Obeidi A., Lawlor K.E., Vince J.E., Kelliher M.A., Hakem R., Pas-

- parakis M., Williams D.A., Ericsson M., Croker B.A.* The pseudokinase MLKL activates PAD4-dependent NET formation in necroptotic neutrophils // *Science signaling*, 2018, vol. 11, no. 546, p. eaao1716. <https://doi.org/10.1126/scisignal.aao1716>
11. Deryugina A. V., Ivashchenko M. N., Ignatiev P. S., Lodyanoy M. S., Samodelkin A. G. Alterations in the Phase Portrait and Electrophoretic Mobility of Erythrocytes in Various Diseases // *Modern Technologies in Medicine*, 2019, vol. 11, no. 2, pp. 63-67. <https://doi.org/10.17691/stm2019.11.2.09>
  12. *Desai J., Kumar S.V., Mulay S.R., Konrad L., Romoli S., Schauer C., Herrmann M., Bilyy R.O., Müller S., Popper B., Nakazawa D., Weidenbusch M., Thomasova D., Krautwald S., Linkermann A., Anders H.* PMA and crystal-induced neutrophil extracellular trap formation involves RIPK1-RIPK3-MLKL signaling // *European Journal of Immunology*, 2016, vol. 46, no.1, pp. 223-229. <https://doi.org/10.1002/eji.201545605>
  13. Duff G.C.; Galyean M.L. Board-invited review: Recent advances in management of highly stressed, newly received feedlot cattle // *Journal of Animal Science*, 2007, vol. 85, no. 3, pp. 823–840. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-501>
  14. *Mormede P., Andanson S., Auperin B., Beerda B., Guemene D., Malmkvist J., Manteca X., Manteuffel G., Prunet P., Reenen C.G., Richard S., Veissier I* Exploration of the hypothalamic–pituitary–adrenal function as a tool to evaluate animal welfare // *Physiology & Behavior*, 2007, vol. 92, pp. 317-339. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2006.12.003>
  15. Moschonas I.C., Tselepis, A.D. The pathway of neutrophil extracellular traps towards atherosclerosis and thrombosis // *Atherosclerosis*, 2019, vol. 288, pp. 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2019.06.919>
  16. Rostagno M.H. Can stress in farm animals increase food safety risk? // *Food-borne pathogens & disease*, 2009, vol. 6, no. 7, pp. 767-776. <https://doi.org/10.1089/fpd.2009.0315>
  17. Sordillo L.M., Raphael W. Significance of metabolic stress, lipid mobilization, and inflammation on transition cow disorders // *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 2013, vol. 29, no 2, pp. 267–278. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2013.03.002>
  18. Twaddell S.H., Baines K.J., Grainge C., Gibson P.G. The emerging role of neutrophil extracellular traps in respiratory disease // *Chest* 2019, vol. 156, no. 4, pp. 774-782. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2019.06.012>
  19. Yipp B.G., Petri B., Salina D., Jenne C.N., Scott B.N., Zbytnuik L.D., Pittman K., Asaduzzaman M., Wu, K., Meijndert H.C., Malawista S.E., de Boisleury Cheavance A., Zhang K., Conly J., Kubes P. Infection-induced NETosis is a

dynamic process involving neutrophil multitasking in vivo // *Nature medicine* 2012, vol. 18, pp. 1386–1393. <https://doi.org/10.1038/nm.2847>

20. Yousefi S., Simon D., Stojkov D., Karsonova A., Karaulov A., Simon H.U. In vivo evidence for extracellular DNA trap formation // *Cell death & disease*, 2020, vol. 11 no. 300, pp. 1-15. <https://doi.org/10.1038/s41419-020-2497-x>

### References

1. Gavrilova G.A., Bakhmet'eva S.V. Nespetsificheskaya rezistentnost' korov, in-fitsirovannykh VLKRS i bol'nykh leykozom [Nonspecific resistance of cows infected with VLCMS and leukemia patients]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* [Siberian Bulletin of Agricultural Science], 2005, no. 1 (155). pp. 118-121.
2. Garkavi L.Kh., Kvakina E.B., Kuz'menko T.S., Shikhlyarova A.I. *Antistressornye reaktsii i aktivatsionnaya terapiya. Reaktsiya aktivatsii kak put' k zdorov'yu cherez protsessy samoorganizatsii* [Antistressor reactions and activation therapy. Activation reaction as a pathway to health through self-organization processes]. Yekaterinburg, RIA "Philanthropist", 2002, vol. 1, 196 p.
3. Deryugina A.V., Ivashchenko M.N., Ignat'ev P.S., Samodelkin A.G., Koryagin A.S., Talamanova M.N., Skvortsova G.A., Sidey K.R., Belov A.A. Deystvie nizkointensivnogo lazernogo izlucheniya na pokazateli krasnoy krovi intaktnogo i al'terirovannogo organizma [The effect of low-intensity laser radiation on the parameters of red blood of an intact and altered organism]. *Veterinary, zootechnics and biotechnology*, 2018, no. 3, pp. 14-20. <https://doi.org/10.26155/vet.zoo.bio.201904011>
4. Deryugina A.V., Ivashchenko M.N., Ignat'ev P.S., Samodelkin A.G., Zolotova M.V., Shabalin M.A., Gracheva E.A. Diagnosticheskie vozmozhnosti elektroforeticheskoy podvizhnosti eritrotsitov i kletok bukkal'nogo epiteliya pri stresse [Diagnostic possibilities of electrophoretic mobility of erythrocytes and buccal epithelial cells under stress]. *Pathological physiology and experimental therapy*, 2019, vol. 63, no. 1, pp. 106-111. <https://doi.org/10.25557/0031-2991.2019.01.106-111>
5. Karamaeva A. S. Svyaz' pokazateley molochnoy produktivnosti i estestvennoy rezistentnosti organizma zhivotnykh [Relationship between indicators of milk productivity and natural resistance of the animal organism]. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*, 2015, no. 1, pp. 87–91.
6. Korovin A.V. Vliyanie sezona goda na estestvennyuyu rezistentnost' korov molochnykh porod [Influence of the season of the year on the natural resistance of dairy cows]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2013, no. 1, pp. 99–102.

7. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke i korrektsii nespetsificheskoy rezistentnosti zhivotnykh rassmotreny, odobreny i rekomendovany k izdaniyu seksiesy «Patologiya, farmakologiya i terapiya» otdeleniya veterinarnoy meditsiny RASKhN (protokol № 2 ot 8 iyunya 2005 g.)* [Guidelines for the assessment and correction of nonspecific resistance of animals are reviewed, approved and recommended for publication by the section “Pathology, pharmacology and therapy” of the Department of Veterinary Medicine of the Russian Academy of Agricultural Sciences (protocol No. 2 dated June 8, 2005)], Voronezh, 2005, pp. 18-31.
8. Proshina O.V., Loskutov N.A. Vosproizvodstvo stada: poteryannaya stranitsa [Herd Reproduction: The Lost Page]. *Zhivotnovodstvo Rossii*, 2011, no. 9, p. 40-41.
9. Shkuratova I. A. Ekologo-biologicheskie osobennosti krupnogo rogatogo skota v usloviyakh tekhnogeneza [Ecological and biological features of cattle in the conditions of technogenesis]. *Voprosy normativno-pravovogo regulirovaniya v veterinarii* [Issues of regulatory and legal regulation in veterinary medicine], 2015, no. 2, pp. 366–369.
10. D’Cruz A.A., Speir M., Bliss-Moreau M., Dietrich S., Wang S., Chen A.A., Gaviilet M., Al-Obeidi A., Lawlor K.E., Vince J.E., Kelliher M.A., Hakem R., Pasparakis M., Williams D.A., Ericsson M., Croker B.A. *The pseudokinase MLKL activates PAD4-dependent NET formation in necroptotic neutrophils*. *Science signaling*, 2018, vol. 11, no. 546, p. eaao1716. <https://doi.org/10.1126/scisignal.aao1716>
11. Deryugina A.V., Ivashchenko M.N., Ignatiev P.S., Lodyanoy M.S., Samodelkin A.G. Alterations in the Phase Portrait and Electrophoretic Mobility of Erythrocytes in Various Diseases. *Modern Technologies in Medicine*, 2019, vol. 11, no. 2, pp. 63-67. <https://doi.org/10.17691/stm2019.11.2.09>
12. Desai J., Kumar S.V., Mulay S.R., Konrad L., Romoli S., Schauer C., Herrmann M., Bilyy R.O., Müller S., Popper B., Nakazawa D., Weidenbusch M., Thomasova D., Krautwald S., Linkermann A., Anders H. PMA and crystal-induced neutrophil extracellular trap formation involves RIPK1-RIPK3-MLKL signaling. *European Journal of Immunology*, 2016, vol. 46, no.1, pp. 223-229. <https://doi.org/10.1002/eji.201545605>
13. Duff G.C., Galyean M.L. Board-invited review: Recent advances in management of highly stressed, newly received feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 2007, vol. 85, no.3, pp. 823–840. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-501>
14. Mormede P., Andanson S., Auperin B., Beerda B., Guemene D., Malmkvist J., Manteca X., Manteuffel G., Prunet P., Reenen C.G., Richard S., Veissier I. Ex-

- ploration of the hypothalamic–pituitary–adrenal function as a tool to evaluate animal welfare. Physiology & Behavior, 2007, vol. 92, pp. 317-339. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2006.12.003>*
15. Moschonas I.C., Tselepis, A.D. The pathway of neutrophil extracellular traps towards atherosclerosis and thrombosis. *Atherosclerosis*, 2019, vol. 288, pp. 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2019.06.919>
  16. Rostagno M.H. Can stress in farm animals increase food safety risk? *Foodborne pathogens & disease*, 2009, vol. 6, no.7, pp. 767-776. <https://doi.org/10.1089/fpd.2009.0315>
  17. Sordillo L.M., Raphael W. Significance of metabolic stress, lipid mobilization, and inflammation on transition cow disorders. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 2013, vol. 29, no 2, pp. 267–278. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2013.03.002>
  18. Twaddell S.H., Baines K. J., Grainge C., Gibson P.G. The emerging role of neutrophil extracellular traps in respiratory disease. *Chest*, 2019, vol. 156, no. 4, pp. 774-782. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2019.06.012>
  19. Yipp B.G., Petri B., Salina D., Jenne C.N., Scott B.N., Zbytnuik L.D., Pittman K., Asaduzzaman M., Wu, K., Meijndert H. C., Malawista S. E., de Boisfleury Chevance A., Zhang K., Conly J., Kubes P. Infection-induced NETosis is a dynamic process involving neutrophil multitasking in vivo. *Nature medicine*, 2012, vol. 18, pp. 1386–1393. <https://doi.org/10.1038/nm.2847>
  20. Yousefi S., Simon D., Stojkov D., Karsonova A., Karaulov A., Simon H.U. In vivo evidence for extracellular DNA trap formation. *Cell death & disease*, 2020 vol. 11 no. 300, pp. 1-15. <https://doi.org/10.1038/s41419-020-2497-x>

### ВКЛАД АВТОРОВ

**Дерюгина А.В.:** разработка концепции научной работы, составление черновика рукописи.

**Ивашенко М.Н.:** разработка концепции научной работы, редактирование черновика рукописи, написание рукописи.

**Метелин В.Б., Ковылин Р.С., Игнатьев П.С.:** сбор и анализ данных, статистическая обработка.

### AUTHOR CONTRIBUTIONS

**Anna V. Deryugina:** development of the concept of scientific work, drafting of the manuscript.

**Marina N. Ivashchenko:** development of the concept of scientific work, editing of the draft of the manuscript, writing the manuscript.

**Vladislav B. Metelin, Roman S. Kovylin, Pavel S. Ignatiev:** data collection and analysis, statistical processing.

#### **ДАнные ОБ АВТОРАХ**

**Дерюгина Анна Вячеславовна**, доктор биологических наук, доцент  
*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»*  
*пр. Гагарина, 23, г. Нижний Новгород, 603022, Российская Федерация*  
*deryugina@ibbm.unn.ru*

**Ивашенко Марина Николаевна**, кандидат биологических наук, доцент  
*ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия»*  
*пр. Гагарина, 97, г. Нижний Новгород, 603107, Российская Федерация*  
*marina.31@rambler.ru*

**Метелин Владислав Борисович**, кандидат биологических наук  
*Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Московской области «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского» ГБУЗ МО МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского*  
*ул. Щепкина 61/2, корпус 1, г. Москва, 129110, Российская Федерация*  
*verrv01@gmail.com*

**Ковылин Роман Сергеевич**, кандидат химических наук  
*Институт металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева РАН*  
*ул. Тropicина, 49, г. Нижний Новгород, 603137, Российская Федерация*  
*roman@iomc.ras.ru*

**Игнатъев Павел Сергеевич**, кандидат физико-математических наук  
*Производственное объединение «Уральский оптико-механический завод «имени Э.С. Яламова»*  
*ул. Восточная, 33 Б, г. Екатеринбург, 620100, Российская Федерация*  
*ignasha2000@yandex.ru*

**DATA ABOUT THE AUTHORS****Anna V. Deryugina**, Dr. Sci. (Biol.), Associate Professor*National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod  
23, Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, 603022, Russian Federation  
deryugina@ibbm.unn.ru**ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8812-8559>**SPIN-code: 7974-4600***Marina N. Ivashchenko**, Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor*Nizhny Novgorod State Agricultural Academy  
97 Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation  
marina.31@rambler.ru**ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6642-8518>**SPIN-code: 8510-8676***Vladislav B. Metelin**, Cand. Sci. (Biol.)*Moscow Regional Research Clinical Institute named after M.F. Vladimirovsky State Medical University of the Moscow State Medical University named after M.F. Vladimirsky**61/2, Shchepkina Str., building 1, Moscow, 129110, Russian Federation  
verrv01@gmail.com**ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0600-5729>***Roman S. Kovylin**, Cand. Sci. (Chem.)*Razuvaev Institute of Organometallic Chemistry of the Russian Academy of Sciences**49, Tropinina Str., Nizhny Novgorod, 603137, Russian Federation  
roman@iomc.ras.ru**ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3897-6960>***Pavel S. Ignatiev**, Cand. Sci. (Phys.-Math.)*Production Association "Ural Optical and Mechanical Plant" named after E.S. Yalamov**33B, Vostochnaya Str., Yekaterinburg, 620100, Russian Federation  
ignasha2000@yandex.ru**ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5075-7034>*

Поступила 17.11.2022

После рецензирования 29.11.2022

Принята 08.12.2022

Received 17.11.2022

Revised 29.11.2022

Accepted 08.12.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-41-57

УДК 612.273.2, 612.146.1



Научная статья | Физиология

## ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ СЕРДЦА ЧЕЛОВЕКА В ПЕРИОД ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ ЖЕЛУДОЧКОВ ПРИ ОСТРОЙ НОРМОБАРИЧЕСКОЙ ГИПОКСИИ

*Е.В. Заменина, Н.И. Ивонина, И.М. Рощевская*

**Обоснование.** Воздействие острой гипоксии на человека приводит к нарушениям функции сердца, что отражается в увеличении неоднородности процесса деполяризации желудочков, которое сложно установить при использовании традиционной ЭКГ.

**Цель.** Исследование электрической активности сердца на поверхности торса человека в период деполяризации желудочков сердца при воздействии острой нормобарической гипоксии с использованием многоканального ЭКГ-картирования.

**Материал и методы.** Электрическую активность сердца у практически здоровых молодых мужчин ( $20 \pm 1$  лет) исследовали в период деполяризации желудочков в условиях экзогенной острой нормобарической гипоксии методом кардиоэлектротопографии. Регистрировали униполярные ЭКГ от 64 электродов на поверхности грудной клетки, синхронно с биполярными ЭКГ в отведениях от конечностей, проводили оценку амплитуд R и S зубцов на ЭКГ в позиции отведений  $V_1$  и  $V_5$ .

**Результаты.** Выявлено, что при гипоксии по сравнению с исходным состоянием паттерн распределения и пространственно-временная динамика положительных и отрицательных кардиопотенциалов, отражающих на поверхности торса последовательность активации миокарда, существенно не изменились и были характерными для периода начальной желудочковой активности у практически здоровых людей. Выявлено существенное снижение амплитуд максимальных экстремумов кардиоэлектрических потенциалов, амплитуд зубцов SV1 и RV5 при гипоксии: амплитуда максимума снизилась с  $1,88 \pm 0,58$  мВ в исходном состоянии до  $1,83 \pm 0,55$  мВ при гипоксии; минимума – с  $-2,08 \pm 0,76$  мВ до  $-1,85 \pm 0,73$  мВ; зубца  $S_{V1}$  с  $-1,28 \pm 0,25$  мВ до  $-1,17 \pm 0,18$  мВ; зубца  $R_{V5}$  с  $1,21 \pm 0,25$

мВ до  $1,05 \pm 0,29$  мВ, соответственно, при этом длительность деполаризации желудочков статистически значимо не изменилась.

**Заключение.** При гипоксическом воздействии у обследованных людей выявлено значимое снижение амплитуд максимальных экстремумов электрического поля сердца, взаимосвязь изменений амплитуд положительного экстремума и зубца RV5, при практически неизменных длительности деполаризации желудочков и динамики распределения кардиоэлектрических потенциалов.

**Ключевые слова:** кардиоэлектротопография; деполаризация желудочков; гипоксия

**Для цитирования.** Заменина Е.В., Ивонина Н.И., Роцевская И.М. Электрическая активность сердца человека в период деполаризации желудочков при острой нормобарической гипоксии // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №3. С. 41-57. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-41-57

Original article | Physiology

## ELECTRICAL ACTIVITY OF THE HUMAN HEART DURING THE PERIOD OF VENTRICULAR DEPOLARIZATION UNDER ACUTE NORMOBARIC HYPOXIA

*E.V. Zamenina, N.I. Ivonina, I.M. Roshchevskaya*

**Background.** The effect of acute hypoxia on the human heart leads to deterioration of the heart function, this is reflected in an increase of the heterogeneity of the depolarization process, which is difficult to reveal when using a traditional ECG.

**Purpose.** To investigate the electrical activity of the heart during the ventricular depolarization on the thorax surface under the exposure of acute normobaric hypoxia using multichannel ECG mapping.

**Material and methods.** The electrical activity of the heart in apparently healthy young men ( $20 \pm 1$  years) was studied during ventricular depolarization under exposure of acute normobaric hypoxia using cardioelectrotopygraphy. Unipolar ECGs were recorded from 64 electrodes on the surface of the chest, simultaneously with bipolar ECGs in limb leads and the amplitudes of R and S waves from the surface electrodes localized in positions  $V_1$  and  $V_5$  of the traditional ECG were evaluated.

**Results.** It was revealed that during hypoxia, in comparison with the initial state, the pattern of distribution and the spatio-temporal dynamics of positive and negative

cardiac potentials reflecting the sequence of myocardial activation on the torso surface did not change significantly and were typical for the period of ventricular depolarization of the healthy person. A decrease in the amplitudes of the maximum extrema of cardiac electric potentials, the amplitudes of the SV1 and RV5 waves at hypoxic exposure was revealed: the amplitude of the maximum decreased from  $1.88 \pm 0.58$  mV in the initial state to  $1.83 \pm 0.55$  mV at hypoxia, the minimum – from  $-2.08 \pm 0.76$  mV to  $-1.85 \pm 0.73$  mV, the  $S_{V1}$  wave from  $-1.28 \pm 0.25$  mV to  $-1.17 \pm 0.18$  mV,  $R_{V5}$  wave from  $1.21 \pm 0.25$  mV to  $1.05 \pm 0.29$  mV, respectively, while the duration of ventricular depolarization did not change statistically significantly.

**Conclusion.** Under hypoxic exposure, the examined persons showed a significant decrease in the amplitudes of the maximum extrema of the electric field of the heart, a direct correlation between changes in the amplitudes of the positive extremum and the RV5 wave, with practically unchanged duration of ventricular depolarization and dynamics of the distribution of cardioelectric potentials.

**Keywords:** cardioelectrotography; ventricular depolarization; hypoxia

**For citation.** Zamenina E.V., Ivonina N.I., Roshchevskaya I.M. Electrical Activity of the Human Heart During the Period of Ventricular Depolarization under Acute Normobaric Hypoxia. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 41-57. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-41-57

## Введение

Изучение влияния гипоксии на организм человека не утрачивает своей актуальности, поскольку многие нарушения функции сердца напрямую связаны с развитием кислородной недостаточности [2, 5]. Для кардиомиоцитов характерно высокое потребление кислорода, необходимого для образования макроэргических соединений, обеспечивающих активность ионных каналов для образования потенциала действия [20], поэтому при падении парциального давления кислорода в крови изменяются электрофизиологические характеристики миокарда [2; 12]. Гипоксическое состояние повышает неоднородность процесса деполяризации миокарда и увеличивает риски развития жизнеугрожающих аритмий [19]. Использование традиционной ЭКГ в начальном периоде развития гипоксического состояния миокарда недостаточно информативно ввиду разнонаправленности изменений амплитудных критериев деполяризации желудочков у людей с разной толерантностью к гипоксии [2]. Многоканальное поверхностное ЭКГ-картирование продемонстрировало высокую чувствительность и специфичность при различных нарушениях деятельности сердца, его диагностическая и прогностическая ценность подтверждена клиническими исследованиями [10, 21]. Возможность визуализации электрофизиологических процессов при помо-

щи различных активационных карт позволяет выявлять электрическую неоднородность миокарда, его ремоделирование [8, 9, 14].

Изучение электрокардиографической информации от множества точек на поверхности грудной клетки в условиях экзогенной гипоксической гипоксии позволит получить дополнительную информацию о функционировании сердца при ограничении поступления кислорода в организм человека.

**Цель работы** – исследование электрической активности сердца в период деполаризации желудочков при воздействии острой нормобарической гипоксии с использованием многоканального ЭКГ-картирования.

### **Материалы и методы исследования**

В исследовании приняли добровольное участие 6 практически здоровых мужчин (20±1 лет, масса тела 80,7±10,2 кг, длина тела 179,5±6,7 см). Все испытуемые перед началом исследования были ознакомлены с условиями его проведения и дали добровольное письменное согласие на участие. Протокол исследования соответствовал этическим медико-биологическим нормам, изложенным в Хельсинкской декларации, а также был одобрен биоэтическим комитетом отдела сравнительной кардиологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (протокол № 1 от 6.04.2022).

Исследование проводили в помещении при температуре воздуха 21-23°C, относительной влажности 55-64 %, барометрическом давлении 740-750 мм рт. ст. Во время исследования обследуемые находились в положении полусидя в кресле. Гипоксическое воздействие (ГВ) осуществляли экзогенно через лицевую маску в течение 15 минут в условиях нормального атмосферного давления с использованием гипоксической газовой смеси (содержание кислорода 12,3%, азота 87,6%, углекислого газа 0,04%), получаемой на кислородном концентраторе «Kröber O<sub>2</sub>» (Германия).

Для контроля состояния испытуемых в исходном состоянии, при ГВ и восстановительном периоде (5 минут дыхания атмосферным воздухом) регистрировали оксигенацию крови (SpO<sub>2</sub>), частоту сердечных сокращений (ЧСС) с помощью пульсоксиметра «Nonin 8500» (США), систолическое и диастолическое артериальное давление (АДсист и АДдиаст) – автоматическим тонометром «OMRON I-Q 142» (Япония).

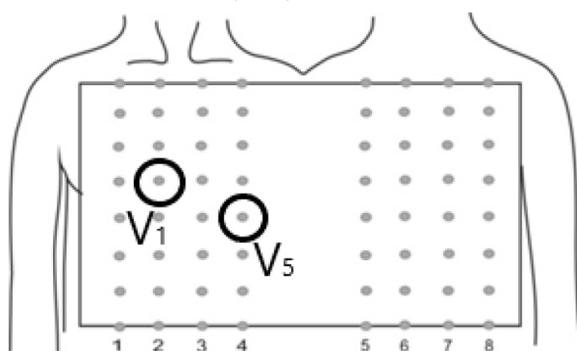
В исходном состоянии, на каждой минуте периодов ГВ и восстановления у обследуемых синхронно с биполярными ЭКГ в отведениях от конечностей (I, II, III) регистрировали униполярные ЭКГ от 64 электродов, расположенных равномерно на торсе, при помощи автоматизированной системы для синхронной многоканальной регистрации [7].

При анализе электрической активности желудочков сердца на ЭКГ во втором отведении от конечностей по трем сердечным кардиоциклам определяли средние длительности комплекса  $QRS_{II}$ .

Параметры электрического поля сердца (ЭПС) в период деполяризации желудочков сердца исследовали по пространственному расположению зон и экстремумов положительных и отрицательных кардиоэлектрических потенциалов (максимума и минимума, соответственно) на эквипотенциальных моментных картах. Значения времени до пика  $R_{II}$  на ЭКГ указывали со знаком минус, после – без знака.

По эквипотенциальным моментным картам анализировали: амплитудные характеристики положительного и отрицательного экстремумов; пространственно-временные изменения ЭПС на поверхности тела (начало и конец формирования ЭПС, характерного для деполяризации желудочков, начало и конец первой и второй инверсий, определяемых как изменения взаимного расположения зон положительных и отрицательных кардиопотенциалов; длительности деполяризации желудочков и инверсий).

Дополнительно проводили анализ униполярных ЭКГ в отведениях  $V_1$  и  $V_5$ . Ранее было показано [11, 12], что в условиях нормобарической гипоксии значительно изменяются амплитуды зубцов в грудных отведениях  $V_1$  и  $V_5$ , что позволяет использовать их в качестве маркеров изменения электрической активности сердца при экзогенной гипоксии. В настоящем исследовании анализировали амплитуду зубца S в отведении  $V_1$  ( $S_{V_1}$ ), амплитуду зубца R в отведении  $V_5$  ( $R_{V_5}$ ) (рис. 1).



**Рис. 1.** Схема расположения 64 униполярных электродов на поверхности грудной клетки человека

Примечание. Цифрами 1-8 обозначены ряды, содержащие по 8 отводящих электродов. Черными кружками отмечена локализация отведений  $V_1$  и  $V_5$  традиционной ЭКГ.

Статистическую обработку данных проводили пакетом Statistica 10.0. (StatSoft, USA). Данные представлены в виде средней арифметической  $\pm$  стандартное отклонение. Полученные результаты по критерию Шапиро-Уилка имели нормальное распределение, статистическую значимость различий оценивали t-критерием Стьюдента для двух зависимых выборок «до-после». Корреляцию рассчитывали, используя коэффициент Пирсона, высокой считали связь показателей при значении выше 0,6. Различия считали статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

### **Результаты исследования и их обсуждение**

В исходном состоянии у обследованных людей  $SpO_2$  составила 98 %, ЧСС –  $76 \pm 12$  уд/мин, АД сист –  $125 \pm 9$  мм рт. ст., АД диаст –  $70 \pm 7$  мм рт. ст.

При воздействии острой нормобарической гипоксии у обследованных выявлено статистически значимое снижение оксигенации крови до  $77 \pm 8$  % (на 11 мин. ГВ) и увеличение ЧСС до  $95 \pm 8$  уд/мин (на 7 мин. ГВ) по сравнению с исходным состоянием ( $p < 0,05$ ), незначительное уменьшение АД сист и АД диаст. В период 5-минутного восстановления все гемодинамические показатели восстановились до исходного уровня.

У всех обследованных людей в исходном состоянии и в конце ГВ характер динамики смещения зон и экстремумов положительных и отрицательных кардиопотенциалов на ЭПС в период деполяризации желудочков был однотипным (рис. 2).

Для начала формирования ЭПС, типичного для деполяризации желудочков сердца (рис. 2-1), характерно появление небольшой по площади зоны и экстремума положительных потенциалов на вентральной части грудной клетки в области грудины, на фоне всей остальной поверхности торса с экстремумом отрицательных кардиопотенциалов. В период восходящей части зубца  $R_{II}$  на ЭПС у всех обследованных людей происходила первая инверсия взаимного расположения зон положительных и отрицательных кардиопотенциалов ЭПС (рис. 2-2). Во время инверсии положительный экстремум и зона, занимающие к тому моменту всю вентральную сторону торса смещались вниз, к нижней части грудной клетки, и влево, отрицательный экстремум и зона переходили с дорсальной стороны на вентральную через правое плечо. В период нисходящей фазы  $RS_{II}$  происходила вторая инверсия взаимного расположения зон положительных и отрицательных кардиопотенциалов (рис. 2-4) на ЭПС у всех обследованных лиц. Область положительных кардиоэлектрических потенциалов с экстремумом перемещались через леволатеральную поверхность торса на спину, отрицательная область с экстремумом смещались к нижней части грудной клетки и занимали к окончанию инверсии всю вентральную сторону.

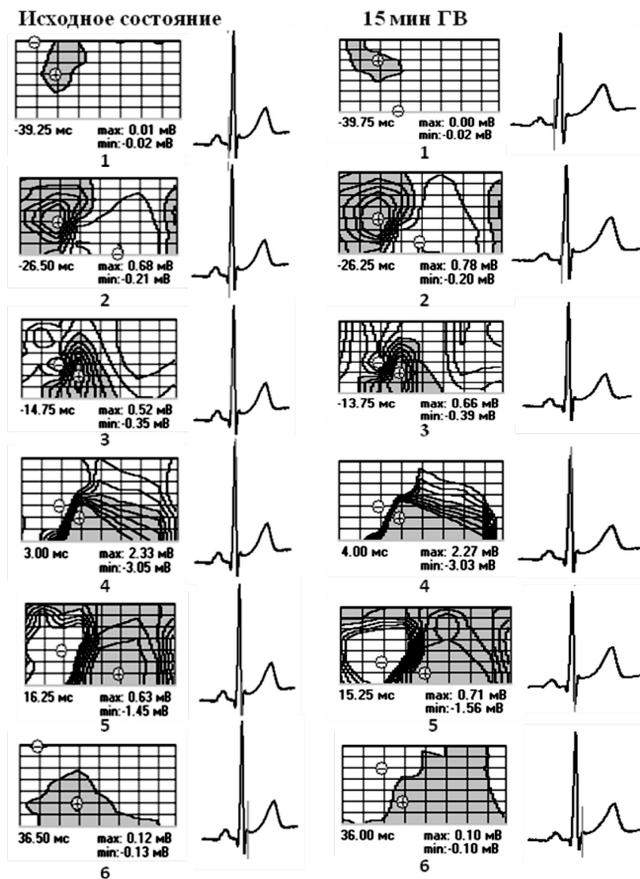


Рис. 2. Эквипотенциальные моментные карты

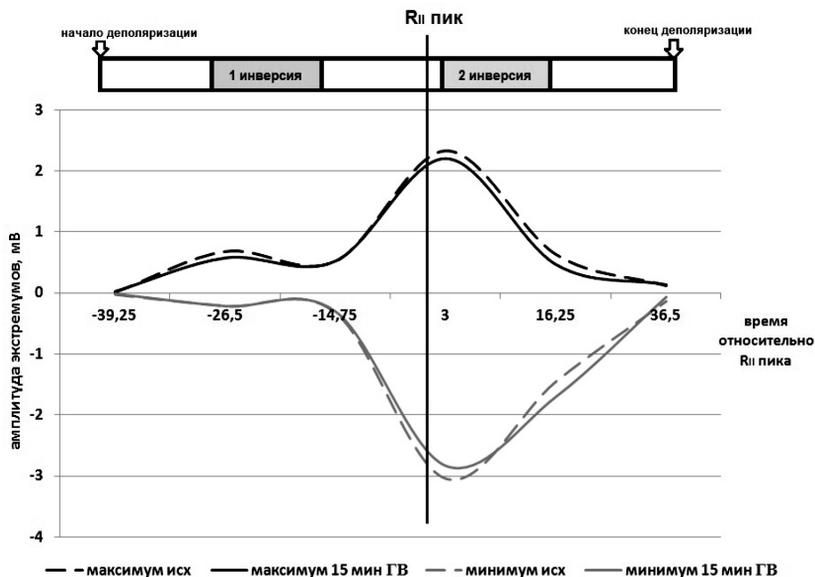
электрического поля сердца в период деполаризации желудочков на поверхности грудной клетки обследованного М.П. в исходном состоянии и на 15 минуте гипоксического воздействия

1 – начало формирования ЭПС, характерного для периода деполаризации желудочков сердца, 2 – начало первой инверсии; 3 – окончание первой инверсии; 4 – начало второй инверсии; 5 – окончание второй инверсии; 6 – окончание деполаризации желудочков сердца.

Примечание. Закрашены области положительных кардиопотенциалов. Знаки «+» и «-» обозначают положение положительного и отрицательного экстремумов, соответственно. Под каждой картой указано время в мс относительно пика зубца  $R_{II}$ , справа приведена ЭКГ<sub>II</sub> с маркером времени (вертикальная черта), указаны максимальная амплитуда положительного и отрицательного кардиопотенциалов. Шаг изолиний равен 0,1 мВ.

У половины исследуемых к окончанию второй инверсии положительные кардиопотенциалы располагались и краниально на вентральной стороне, занимая область ключиц. Окончание деполяризации желудочков сердца (рис. 2-6) обследованных людей отражалось на ЭПС постепенным уменьшением зоны положительных кардиопотенциалов с одновременным уменьшением амплитуд положительного и отрицательного экстремумов.

Сопоставление динамики амплитуд экстремумов при изменении расположения зон на ЭПС на грудной клетке обследованных позволило выявить основные характеристики нарастания потенциала максимума и минимума в различные периоды деполяризации желудочков (Рис. 3).

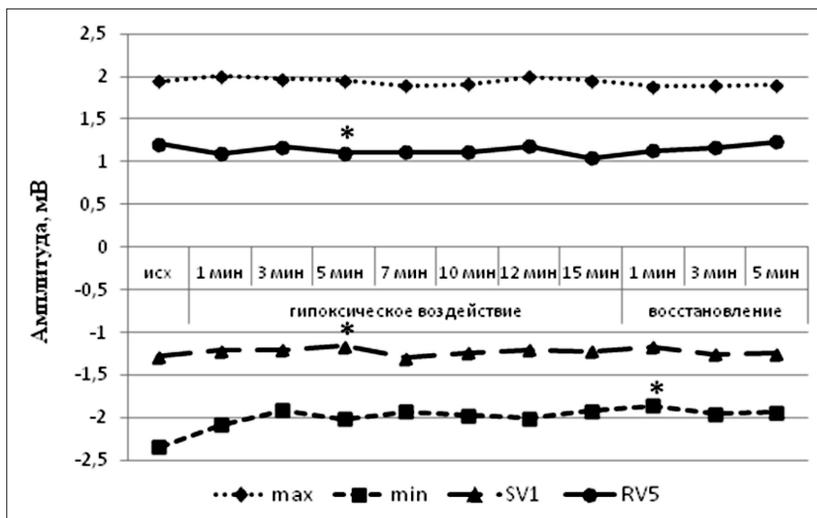


**Рис. 3.** Динамика амплитуд максимума и минимума и пространственные характеристики электрического поля сердца (инверсии) в период деполяризации желудочков на поверхности грудной клетки у обследованного М.П. в исходном состоянии и на 15 минуте гипоксического воздействия

В начальный период активации желудочков, в период первой инверсии областей кардиоэлектрических потенциалов, амплитуды максимума и минимума ЭПС на поверхности торса увеличивались постепенно и незначительно. После первой инверсии областей кардиоэлектрических потенциалов к моменту пика зубца R<sub>II</sub> амплитуды обоих экстремумов выросли

до 1,8-2,6 мВ. Однако максимальные величины максимума и минимума (2,5-3,35 мВ) были отмечены после пика зубца  $R_{II}$  (на  $1,2 \pm 0,6$  мс), во время второй инверсии зон ЭПС. После этого потенциал экстремумов снижался быстро, дойдя до минимальных значений в 0,01-0,03 мВ еще до завершения комплекса QRS.

Показана динамика изменения амплитуд положительного и отрицательного экстремумов ЭПС и амплитуд положительного и отрицательного потенциала в грудных отведениях  $V_1$  и  $V_5$  (рис. 4).



**Рис. 4.** Амплитуды положительного и отрицательного экстремумов (max и min), SV1, RV5 в исходном состоянии (исх), при гипоксическом воздействии (1-15 мин) и восстановлении (1-5 мин)  
\* - статистическая значимость различий ( $p < 0,05$ ) по сравнению с исходным состоянием

Выявлено снижение амплитуд максимума, минимума,  $S_{V1}$ ,  $R_{V5}$  относительно исходного состояния с первой по 10 минуту ГВ. Максимально уменьшилась амплитуда  $S_{V1}$ ,  $R_{V5}$  на пятой минуте ГВ ( $p < 0,05$ ), а положительного и отрицательного экстремумов – на 7 минуте ГВ. В восстановительный период амплитуда экстремумов не возвратилась к исходному уровню, амплитуда  $S_{V1}$ ,  $R_{V5}$  восстановилась.

Выявлена положительная статистически значимая корреляция между амплитудами максимума и  $R_{V5}$  в исходном состоянии, на третьей и седьмой минутах ГВ и в период восстановления (табл.).

Таблица.

**Показатели корреляции Пирсона между амплитудами максимума и  $R_{V_5}$  у обследованных людей в исходном состоянии, при гипоксическом воздействии и в период восстановления дыханием атмосферным воздухом**

Показатели	Исходное состояние	Гипоксическое воздействие							Восстановление		
		1 мин	3 мин	5 мин	7 мин	10 мин	12 мин	15 мин	1 мин	3 мин	5 мин
<b>r</b>	0,878	0,633	0,846	0,784	0,845	0,769	0,780	0,617	0,947	0,810	0,946
<b>p</b>	0,022	0,177	0,034	0,065	0,034	0,074	0,067	0,192	0,004	0,05	0,004

Примечание. r – корреляционная связь, p – уровень значимости.

Корреляции между амплитудами минимума и  $S_{V_1}$  не выявлено в исходном состоянии и при ГВ.

Длительность комплекса QRS в исходном состоянии составила  $0,084 \pm 0,003$  с, длительность деполяризации желудочков сердца –  $0,077 \pm 0,004$  с. При ГВ у обследованных людей не выявлены значимые изменения длительностей комплекса  $QRS_{II}$  и деполяризации желудочков сердца по ЭПС по сравнению с исходным состоянием.

В результате анализа пространственных характеристик ЭПС на поверхности грудной клетки обследованных людей в период деполяризации желудочков сердца выявлено, что формирование и характер движения зон положительных и отрицательных кардиопотенциалов при ГВ не отличаются от исходного состояния.

На эквивалентных моментных картах ЭПС в начале комплекса QRS положительный экстремум появляется в верхней или средней части грудной клетки, а отрицательный экстремум обычно находится в нижней части левой грудной стенки или сзади, что может быть связано с септальным возбуждением, которое возникает преимущественно слева направо, а также с активацией свободной стенки правого желудочка [13]. Позже минимум переходит на дорсальную поверхность грудной клетки, отмечают начало первой инверсии кардиопотенциалов, отражающей изменение основного направления фронта волны возбуждения в верхушечной трети желудочков сердца и прорыв деполяризации на эпикард желудочков. Вторая инверсия кардиоэлектрических потенциалов связана с изменением направления волны возбуждения к основанию желудочков и возбуждением основной массы миокарда [6]. Таким образом, динамика смещения зон и экстремумов кардиоэлектрических потенциалов в период деполяризации желудочков сердца на поверхности тела здорового человека [9, 13] харак-

терна и для обследованных нами людей в исходном состоянии. Экзогенная кратковременная гипоксия не привела к существенным изменениям распределения кардиоэлектрических потенциалов на поверхности торса у обследованных, сохранилась последовательность и временные характеристики движения областей положительных и отрицательных потенциалов относительно друг друга в период деполяризации желудочков сердца.

Ранее в исследованиях на животных и человеке показано, что изменения амплитудно-временных характеристик электрического поля отражает функциональные сдвиги в работе сердца. Предполагают, что при сохранении общей длительности процесса возбуждения изменение характеристик экстремумов указывает на изменение внутренней структуры деполяризации в сердце [17]. Большинство исследователей указывает на то, что умеренная экзогенная гипоксия не изменяет длительность комплекса  $QRS_{II}$  [1, 11, 12], в настоящем исследовании продолжительность периода деполяризации желудочков практически не изменялась на всем протяжении гипоксического воздействия.

Несмотря на кратковременность экзогенной гипоксии анализ динамики амплитуд положительного и отрицательного экстремумов ЭПС на поверхности торса обследованных людей показал уменьшение их абсолютных значений, при этом выявлена взаимосвязь с изменением амплитуды  $R_{V_5}$ , без корреляции с величиной зубца  $S_{V_1}$ . Использование амплитуды  $R_{V_5}$  и  $S_{V_1}$  как маркеров оценки процесса деполяризации желудочков в гипоксических условиях по замечанию самих авторов [12] обосновано при выраженной тканевой гипоксемии. В таких условиях происходит снижение амплитуды потенциала действия кардиомиоцитов [3, 15, 16], обусловленных снижением активности кислородзависимых мембранных каналов клеток сердца [18]. Начальные же изменения функции клеток сердца при кислородной недостаточности могут не сопровождаться изменениями электрофизиологических параметров в период деполяризации желудочков. Исследование процесса реполяризации миокарда человека при гипоксическом воздействии [4] показало, что на фоне отсутствия значимых изменений ЭКГ в стандартных отведениях функциональные изменения в сердце отразились в увеличении временных характеристик экстремумов кардиопотенциалов на поверхности тела, что демонстрирует высокую чувствительность метода кардиоэлектротопографии и его перспективу в оценке начальных изменений электрической активности сердца при воздействии стресс-факторов.

Нами показано, что снижение амплитуды положительного экстремума ЭПС, коррелирующее со снижением амплитуды зубца  $R_{V_5}$  при кратковременной экзогенной гипоксии, может стать критерием оценки изменений элек-

трофизиологии миокарда при использовании многоканального картирования потенциалов сердца на поверхности торса. Отсутствие взаимосвязи изменения максимального отрицательного кардиопотенциала с амплитудой  $S_{V_1}$  дает основания предполагать, что кратковременность и невысокая выраженность гипоксического воздействия отразилась в разнонаправленности изменения S зубца в правых отведениях у обследованных людей и его применение для оценки ГВ на процесс деполяризации желудочков нецелесообразно.

### **Заключение**

Таким образом, кардиоэлектротопографическое исследование деполяризации желудочков практически здоровых людей при воздействии кратковременной экзогенной гипоксии позволило выявить при практически неизменных длительности деполяризации желудочков и динамики распределения кардиоэлектрических потенциалов, значимое снижение амплитуд максимальных экстремумов электрического поля сердца. Детализация процесса деполяризации миокарда желудочков при применении множественного картирования кардиопотенциалов сердца на поверхности торса при гипоксии показала значимую взаимосвязь изменений максимальных амплитуд кардиопотенциалов с величиной  $R_{V_5}$ , при отсутствии таковой с  $S_{V_1}$ , что позволяет предложить применение кардиоэлектротопографических параметров в качестве маркеров при оценке начальных изменений функционального состояния сердца в гипоксических условиях.

### **Список литературы**

1. Бочаров М.И., Шилов А.С. Организация биоэлектрических процессов сердца при разной степени острой нормобарической гипоксии у здоровых людей // Экология человека. 2020. Т. 27, № 12. С. 28-36. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-12-28-36>
2. Горанчук В.В., Сапова Н.И., Иванов А.О. Гипокситерапия. Санкт-Петербург: Элби-СПб, 2003. 536 с.
3. Гришин О.В., Басалаева С.В., Устюжанинова Н.В., и др. Реакции внешнего дыхания и интенсивность энергетического обмена у не адаптированных к гипоксии людей в условиях нарастающей гипоксии // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2014. Вып. 51. С. 8-14.
4. Заменина Е.В., Пантелеева Н.И., Рощевская И.М. Электрическое поле сердца человека в период реполяризации желудочков при острой нормобарической гипоксии до и после курса интервальной гипоксической тренировки // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2019. № 48. С. 115-134. <https://doi.org/10.17223/19988591/48/6>

5. Колчинская А.З. Интервальная гипоксическая тренировка в спорте высших достижений // Спортивная медицина. 2008. № 1. С. 9-24.
6. Рощевская И.М. Кардиоэлектрическое поле теплокровных животных и человека. СПб: Наука, 2008. 250 с.
7. Рощевский М.П., Артеева Н.В., Коломеец Н.Л., и др. Система «Кардиоинформ» для визуализации и анализа кардиологического поля // Медицинский академический журнал. 2005. Т. 5, № 3. С. 74-79.
8. Феофанова Т.Б., Полякова И.П., Залетова Т.С. Диагностические возможности поверхностного ЭКГ-картирования в оценке состояния миокарда при сопутствующей блокаде левой ножки пучка гиса // Современные проблемы науки и образования. 2020. № 4. <https://doi.org/10.17513/spno.30003>
9. Bergquist J., Rupp L., Zenger B., et. al. Body Surface Potential Mapping: Contemporary Applications and Future Perspectives // *Hearts*. 2021. No. 2. P. 514-542. <https://doi.org/10.3390/hearts2040040>
10. Bond R., Finlay D., Nugent C., et. al. Methods for presenting and visualising electrocardiographic data: From temporal signals to spatial imaging // *J Electrocardiol*. 2013. Vol. 46, no. 3. P. 182-196. <https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2013.01.008>
11. Carta A.F., Bitos K., Furian M., et. al. ECG changes at rest and during exercise in lowlanders with COPD travelling to 3100 m // *Int J Cardiol*. 2021. Vol. 324. P. 173-179. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2020.09.055>
12. Coustet B., Lhuissier F.J., Vincent R., et. al. Electrocardiographic changes during exercise in acute hypoxia and susceptibility to severe high-altitude illnesses // *Circulation*. 2015. Vol. 131, no 9. P. 786-794. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.114.013144>
13. De Ambroggi L., Corlan A.D. Body Surface Potential Mapping. In: *Comprehensive Electrocardiology*. Springer Verlag. London Limited. 2011. Vol. 3. P. 1375-1415. <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-046-3>
14. Jia P. Understanding unipolar electrograms and global activation from noninvasive mapping for diagnosing arrhythmias // *J Electrocardiol*. 2019. Vol. 57S. P. 10-14. <https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2019.09.011>
15. Kane G.C, Liu X.K., Yamada S., et al. Cardiac KATP channels in health and disease // *J Mol Cell Cardiol*. 2005. Vol. 38, no 6. P. 937-943. <https://doi.org/10.1016/j.yjmcc.2005.02.026>
16. Li Y., Gao J., Lu Z., et al. Intracellular ATP binding is required to activate the slowly activating K<sup>+</sup> channel I (K<sub>s</sub>) // *Proc Natl Acad Sci USA*. 2013. Vol. 110, no. 47. P. 18922-18927. <https://doi.org/10.1073/pnas.1315649110>
17. Mirvis D. Body surface distribution of exercise-induced QRS changes in normal subjects // *Am J Cardiol*. 1980. Vol. 46, no. 6. P. 988-996. [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(80\)90356-2](https://doi.org/10.1016/0002-9149(80)90356-2)

18. Ronchi C., Torre E., Rizzetto R., et al. Late sodium current and intracellular ionic homeostasis in acute ischemia // *Basic Res Cardiol*. 2017. Vol. 112, no. 2. P. 12. <https://doi.org/10.1007/s00395-017-0602-9>
19. Salameh A., Zöbisch H., Schröder B., et. al. Effects of Hypoxia and Acidosis on Cardiac Electrophysiology and Hemodynamics. Is NHE-Inhibition by Cariporide Still Advantageous? // *Front Physiol*. 2020. Vol. 11, 224. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00224>
20. Shimoda L.A., Polak J. Hypoxia. 4. Hypoxia and ion channel function // *Am J Physiol Cell Physiol*. 2011. Vol. 300, no. 5 P. 951-967. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00512.2010>
21. Treshkur T., Panova E., Chmelevsky M., et. al. Determination of genesis and localization of ventricular ectopic focus in a patient with coronary artery disease // *Exp Clin Cardiol*. 2014. Vol. 20, no. 8. P. 2388-2394.

### *References*

1. Bocharov M.I., Shilov A.S. Organizatsiya bioelektricheskikh protsessov serdtsa pri raznoi stepeni ostroi normobaricheskoi gipoksii u zdorovykh lyudei [Organization of bioelectrical processes of the heart in different degrees of acute normobaric hypoxia in healthy people]. *Ekologiya cheloveka* [Human ecology], 2020, vol. 27, no. 12, pp. 28-36. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-12-28-36>
2. Goranchuk V.V., Sapova N.I., Ivanov A.O. *Gipoksiterapiya* [Hypoxic therapy]. Sankt-Peterburg: Elbi – SPb, 2003, 536 p.
3. Grishin O.V., Basalaeva S.V., Ustyuzhaninova N.V., et al. Reaktsii vneshnego dykhaniya i intensivnost' energeticheskogo obmena u ne adaptirovannykh k gipoksii lyudei v usloviyakh narastayushchei gipoksii [Reactions of external respiration and the intensity of energy metabolism in people not adapted to hypoxia in conditions of increasing hypoxia]. *Byulleten' fiziologii i patologii dykhaniya* [Bulletin of Physiology and Pathology of Respiration], 2014, iss. 51, pp. 8-14.
4. Zamenina E.V., Panteleeva N.I., Roshchevskaya I.M. Elektricheskoe pole serdtsa cheloveka v period repolyarizatsii zheludochkov pri ostroi normobaricheskoi gipoksii do i posle kursa interval'noi gipoksicheskoi trenirovki [Electric field of the human heart during ventricular repolarization in acute normobaric hypoxia before and after a course of interval hypoxic training]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* [Bulletin of Tomsk State University. Biology], 2019, no 48, pp. 115-134. <https://doi.org/10.17223/19988591/48/6>
5. Kolchinskaya A.Z. Interval'naya gipoksicheskaya trenirovka v sporte vysshikh dostizhenii [Interval hypoxic training in elite sports]. *Sportivnaya meditsina* [Sports medicine], 2008, no. 1, pp. 9-24.

6. Roshchevskaya I.M. *Kardioelektricheskoe pole teplokrovnykh zhivotnykh i cheloveka* [Cardioelectric field of warm-blooded animals and humans]. Sankt-Peterburg: Nauka, 2008, 250 p.
7. Roshchevskii, M.P., Arteeva N.V., Kolomeets N.L., et al. Sistema «Kardioinform» dlya vizualizatsii i analiza kardiologicheskogo polya [Kardioinform system for visualization and analysis of the cardiac field]. *Meditsinskii akademicheskii zhurnal* [Medical academic journal], 2005, vol. 5, no. 3, pp. 74-79.
8. Feofanova T.B., Polyakova I.P., Zaletova T.S. Diagnosticheskie vozmozhnosti poverkhnostnogo EKG-kartirovaniya v otsenke sostoyaniya miokarda pri soputstvuyushchei blokade levoi nozhki puchka gisa [Diagnostic capabilities of surface ECG mapping in assessing the state of the myocardium with concomitant blockade of the left bundle branch block]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2020, no. 4. <https://doi.org/10.17513/spno.30003>
9. Bergquist J., Rupp L., Zenger B., et. al. Body Surface Potential Mapping: Contemporary Applications and Future Perspectives. *Hearts.*, 2021, no. 2, pp. 514-542. <https://doi.org/10.3390/hearts2040040>
10. Bond R., Finlay D., Nugent C., et. al. Methods for presenting and visualising electrocardiographic data: From temporal signals to spatial imaging. *J Electrocardiol.*, 2013, vol. 46, no. 3, pp. 182-196. <https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2013.01.008>
11. Carta A.F., Bitos K., Furian M., et. al. ECG changes at rest and during exercise in lowlanders with COPD travelling to 3100 m. *Int J Cardiol.*, 2021, vol. 324, pp. 173-179. doi: 10.1016/j.ijcard.2020.09.055
12. Coustet B., Lhuissier F.J., Vincent R., et. al. Electrocardiographic changes during exercise in acute hypoxia and susceptibility to severe high-altitude illnesses. *Circulation*, 2015, vol. 131, no. 9, pp. 786-794. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.114.013144>
13. De Ambroggi L., Corlan A.D. Body Surface Potential Mapping. In: *Comprehensive Electrocardiology*. Springer Verlag. London Limited, 2011, vol. 3, pp. 1375-1415. <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-046-3>
14. Jia P. Understanding unipolar electrograms and global activation from noninvasive mapping for diagnosing arrhythmias. *J Electrocardiol.*, 2019, vol. 57S, pp. 10-14. <https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2019.09.011>
15. Kane G.C, Liu X.K., Yamada S., et al. Cardiac KATP channels in health and disease. *J Mol Cell Cardiol.*, 2005, vol. 38, no. 6, pp. 937-943. <https://doi.org/10.1016/j.yjmcc.2005.02.026>
16. Li Y., Gao J., Lu Z., et al. Intracellular ATP binding is required to activate the slowly activating K<sup>+</sup> channel I (K<sub>s</sub>). *Proc Natl Acad Sci USA*, 2013, vol. 110, no. 47, pp. 18922-18927. <https://doi.org/10.1073/pnas.1315649110>

17. Mirvis D. Body surface distribution of exercise-induced QRS changes in normal subjects. *Am J Cardiol.*, 1980, vol. 46, no. 6, pp. 988-996. [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(80\)90356-2](https://doi.org/10.1016/0002-9149(80)90356-2)
18. Ronchi C., Torre E., Rizzetto R., et al. Late sodium current and intracellular ionic homeostasis in acute ischemia. *Basic Res Cardiol.*, 2017, vol. 112, no. 2, pp. 12. <https://doi.org/10.1007/s00395-017-0602-9>
19. Salameh A., Zöbisch H., Schröder B., et. al. Effects of Hypoxia and Acidosis on Cardiac Electrophysiology and Hemodynamics. Is NHE-Inhibition by Cariporide Still Advantageous? *Front Physiol.*, 2020, vol. 11, 224. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00224>
20. Shimoda L.A., Polak J. Hypoxia. 4. Hypoxia and ion channel function. *Am J Physiol Cell Physiol.*, 2011, vol. 300, no. 5, pp. 951-967. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00512.2010>
21. Treshkur T., Panova E., Chmelevsky M., et. al. Determination of genesis and localization of ventricular ectopic focus in a patient with coronary artery disease. *Exp Clin Cardiol.*, 2014, vol. 20, no. 8. pp. 2388-2394.

### **ВКЛАД АВТОРОВ**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

### **AUTHOR CONTRIBUTIONS**

The authors contributed equally to this article.

### **ДАнные ОБ АВТОРАХ**

**Заменина Елена Всеволодовна**, младший научный сотрудник

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского  
отделения Российской академии наук»*

*ул. Коммунистическая, 24, г. Сыктывкар, 167982, Российская Фе-  
дерация*

*e.mateva@mail.ru*

**Ивонина Наталья Ивановна**, к.б.н., научный сотрудник

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Фе-  
деральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского  
отделения Российской академии наук»*

*ул. Коммунистическая, 24, г. Сыктывкар, 167982, Российская Фе-  
дерация*

*bdr13@mail.ru*

**Рощевская Ирина Михайловна**, член-корреспондент РАН, д.б.н., профессор, главный научный сотрудник  
*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральний исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук»*  
ул. Коммунистическая, 24, г. Сыктывкар, 167982, Российская Федерация  
compcard@mail.ru

#### DATA ABOUT THE AUTHORS

**Elena V. Zamenina**, Junior Researcher

*Komi science centre of the Ural branch of the Russian academy of sciences*  
24, Kommunisticheskaja Str., Syktyvkar, 167982, Russian Federation  
e.mateva@mail.ru  
SPIN-code: 2894-6435  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3438-6365>  
ResearcherID: J-3850-2018  
Scopus Author ID: 57214315485

**Natalya I. Ivonina**, Cand. Sci. (Biol.), Researcher

*Komi science centre of the Ural branch of the Russian academy of sciences*  
24, Kommunisticheskaja Str., Syktyvkar, 167982, Russian Federation  
bdr13@mail.ru  
SPIN-code: 8667-3261  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5802-3753>  
ResearcherID: J-5096-2018  
Scopus Author ID: 56467874100

**Irina M. Roshchevskaya**, Corresponding Member of the Russian Academy of

Sciences, Dr. Sci. (Biol.), Professor, Chief Researcher  
*Komi science centre of the Ural branch of the Russian academy of sciences*  
24, Kommunisticheskaja Str., Syktyvkar, 167982, Russian Federation  
compcard@mail.ru  
SPIN-code: 5424-2991  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6108-1444>  
ResearcherID: J-2185-2018  
Scopus Author ID: 6507951045

Поступила 08.12.2022

После рецензирования 19.12.2022

Принята 25.12.2022

Received 08.12.2022

Revised 19.12.2022

Accepted 25.12.2022

## СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

## AGRICULTURAL SCIENCES

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-58-70

UDC 663.93



Original article | Beverages

SENSORY EVALUATION OF GAYO PEABERRY  
ARABICA COFFEE BY USING THE AHP METHOD*R. Fadhil, S. Safrizal, R. Khathir, P. Navisah*

*As other peaberrys, Gayo peaberry arabica coffee is very attractive because it has single larger and rounder seed. It is believed that the peaberry has superior flavor profile such as more fragrant aroma, stronger flavor, and denser than other arabica coffees. The purpose of this study was to evaluate the Gayo peaberry arabica coffee by using the analytical hierarchy process (AHP) method. Three varieties of Gayo peaberry arabica coffee were investigated i.e., Tim-tim, Bor-bor, and P88, while the processing method used were semi-wash and fully-wash methods. The sensory parameters observed included fragrance, flavor, acidity, body, and sweetness. The results showed that flavor (0.338) was the most important criterion than other taste criteria (fragrance 0.241; sweetness 0.196; acidity 0.115; and body 0.111). The variety that had the highest product acceptance rate was the Tim-tim variety processed by a full-wash method with a value of 0.203. The overall result of data analysis was acceptable because it had a consistency ratio below 0.1 (10%).*

**Keywords:** *analytical hierarchy process; sensory evaluation; Gayo peaberry arabica; monocot; coffee varieties*

**For citation.** *Fadhil R., Safrizal S., Khathir R., Navisah P. Sensory Evaluation of Gayo Peaberry Arabica Coffee by using the AHP Method. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 58-70. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-58-70*

**Introduction**

Gayo arabica coffee from Aceh is one of the most well-known coffee varieties from Indonesia. Gayo coffee is a type of arabica coffee that grows in the

Gayo highlands, covering the districts of Aceh Tengah, Bener Meriah and Gayo Lues [1]. Arabica coffee has high flavor quality and lowers caffeine content than robusta coffee, so the price of arabica coffee is also higher [2]. The three coffee-producing districts have suitable lands for growing coffee because it is located at altitude of more than 1,000 to 1,700 MASL (meters above sea level). Coffee plants in this area have been developed since 1908 and now have been planted in 97,796 ha of coffee plantation area [3].

One type of Gayo arabica coffee bean is monocot (one seed); it is also called the Gayo peaberry arabica coffee. Gayo peaberry arabica coffee is a unique type of coffee because it is different from other coffees with two seeds (dicot). This type of Gayo peaberry arabica coffee is very rare, and it is estimated that the production amount is only about 5-10% of the total coffee beans harvested [4]. Even though it looks irregular, Gayo peaberry arabica coffee has a more fragrant aroma, has a stronger flavor and is denser than other arabica coffees [5]. Due to its limited production and unique flavor, the price of Gayo peaberry arabica coffee is considerably high, up to IDR 300,000 per kilogram at farmer's price [6].

Gayo peaberry arabica coffee does not come from certain varieties or species; all types of coffee can be peaberry (monocot) coffee. Gayo peaberry arabica coffee, which comes from the arabica coffee type, has a very good taste, proven by a sensory evaluation. Sensory evaluation is an assessment carried out by using the human senses, namely eyes, nose, and hands. Sensory evaluation requires a product appraisal team of panelists. The assessment criteria by the panelists also depend heavily on the method used in a study [7; 8]. In this study, the authors used the Analytical Hierarchy Process (AHP) method to conduct a sensory evaluation of Gayo peaberry arabica coffee.

AHP is a general theory of measurement used to determine the ratio scale, either from discrete or continuous pairwise comparisons. AHP describes a problem of several complex criteria into a hierarchy, in which the problem can be broken down into groups so that the problem can be analyzed more structurally and systematically. This study aimed to conduct a sensory evaluation of some varieties and processing methods of Gayo peaberry arabica coffee by using the AHP approach. It is expected to determine the Gayo peaberry arabica coffee variety and processing method with the highest product acceptance. There are three types of varieties to be tested, including the varieties Tim-tim (1000-1400 MASL), Bor-bor (>1400 MASL) and P88 (<1400 MASL), which are processed using the semi-wash and full-wash methods, respectively. The results of this coffee sensory evaluation are expected to determine the type of Gayo peaberry arabica coffee variety with the highest alternative level of product acceptance based on the processing method (semi-wash/full wash).

### Material and Methods

This research was conducted at the Post-Harvest Engineering Laboratory, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia. The data were collected from sensory evaluations by panelists following the Analytical Hierarchy Process (AHP) method, where decision making is done by identifying the structure of the problem which is then assessed to choose an alternative from a number of options available in problem-solving. AHP is used to make considerations in choosing the most preferred or preferred alternative [9;10]. To apply the AHP method in this study, a hierarchical model was compiled, which consists of 3 levels, namely goal, criteria and alternative solutions. The goal level was for the sensory evaluation of the Gayo peaberry arabica coffee, while the criteria level includes fragrance, flavor, acidity, body and sweetness. The alternative solutions level were the six treatments i.e., fully-washed Tim-tim, semi-washed Tim-tim, fully-washed Bor-bor, semi-washed Bor-bor, fully-washed P88, and semi-washed P88. There are several predetermined components in this study, as listed in Table 1.

Table 1.

Research components		
No.	Component	Criteria
1.	Coffee	The coffee used in this study was Gayo peaberry arabica coffee of Tim-tim, Bor-bor and P88 varieties. Coffee was processed in 2 methods, fully-washed and semi-washed, then roasted at medium level.
2.	Tool	The grinder machine used was the Krups GVX231, and the coffee brewing machine was Delonghi EC0311.
3.	Panelist	1. Coffee expert 2. Knowing Gayo arabica coffee 3. In good health (no flu, mouth sores, coughs and other diseases) which can affect the sensory test assessment
4.	Rating system	The assessment was carried out by using a pairwise comparison test as listed in Table 2

In this study, the Gayo peaberry arabica coffee beans were processed directly by the Gayo farmers in Aceh Tengah district. The processing of coffee was carried out under 2 methods i.e., fully-washed and semi-washed, which consist of picking coffee beans, sorting fruit, peeling fruit skins, fermentation, drying, peeling the husks, sorting dry beans, and storage. The difference between the two methods is that the washing process of the fully-washed method was carried out after fermentation, while in the semi-washed method, the washing step did not include [11].

Table 2.

**Pairwise comparison rating scale**

Intensity of Importance	Description
1	Both criteria are very important
3	One criterion is less important than the others
5	One criterion is more important than the others
7	One criterion is clearly more important than the others
9	One criterion is absolutely more important than the others
2, 4, 6, 8	Adjacent consideration values

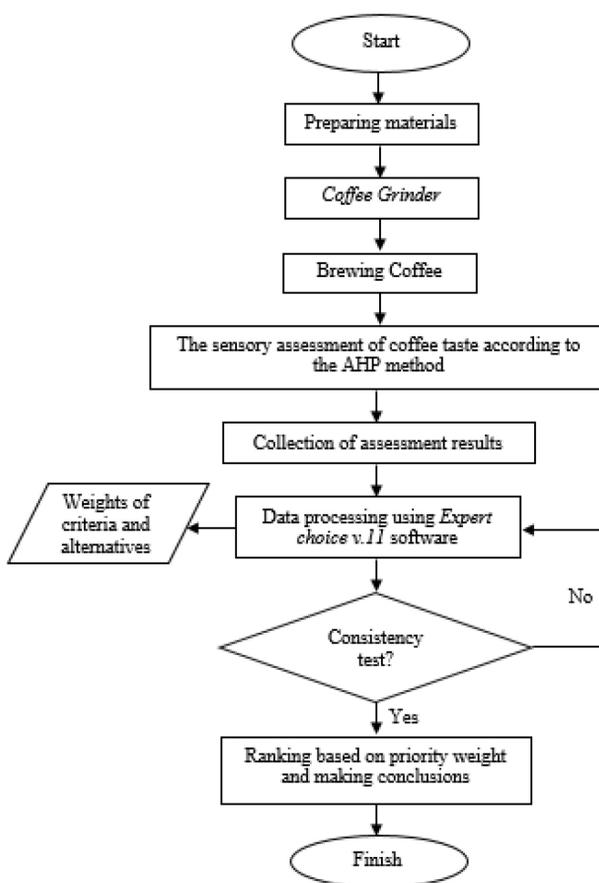


Fig. 1. Research flowchart

This washing after fermentation results in higher acidity. Coffee beans were then subjected to a medium-level of roasting process to produce a darker color, a balanced aroma, and varied flavor. The dry powder and brewed coffee had been prepared by using grinder and brewer machine, respectively. The panelists consist of 10 people (7 men and 3 women) who will judge based on coffee acceptance preferences through a questionnaire that has been prepared using a pairwise comparison rating scale (Table 2).

The assessment process was carried out separately, and there was no communication among the panelists. To achieve the study's objectives, the authors used quantitative data analysis. According to the AHP method, the calculation was carried out with the support of the expert choice version 11 application [12]. The research flow chart is presented in Fig. 1.

## **Research Results and Discussion**

### **Coffee Taste criteria Selection**

The selection of coffee taste criteria was based on the assessment of panelists who were considered to be able to make decisions and provide information about general criteria that are very important in coffee sensory evaluations. Five criteria for coffee taste i.e., fragrance, flavor, acidity, body, and sweetness, were used because they are considered to be very influential in creating the taste of the coffee. The results of the criteria assessment that the panelists had given were then analyzed by calculating the pairwise comparison matrix according to the Analytical Hierarchy Process (AHP) method, which represents the relative importance of one alternative to another.

Results showed that the highest criteria of Gayo peaberry coffee was the flavor with a weight of 0.338. It was followed by the criteria for fragrance 0.241, sweetness 0.196, acidity 0.115, and body 0.111 (Fig. 2). The inconsistency value was about 0.00799 or  $\leq 0.1$ . Therefore, the data was consistent and can be accepted to determine the sensory characteristics of Gayo peaberry arabica coffee. Ranking of coffee criteria was carried out to facilitate overall alternative decision making. Najla [13] also said that the ranking function to determine the intensity that can be assigned to alternatives under the criteria would make it easier to rank alternatives.

The flavor of the coffee was influenced by the processing method, the roasting step, and the brewing method. Hidayatullah [14] stated that coffee beans will undergo a chemical change during the processing that produces a delicious flavor element after. The flavor would be felt by the tongue and the steam aroma would be indicated by the nose when the panelists sip the

coffee. As flavor received top priority in selecting coffee criteria, the flavor criterion was a very dominant consideration variable in determining the good and desirable taste of Gayo peaberry arabica coffee. Hayati et al. [15] also argued that flavor is an important attribute that affects a person's acceptance of a drink; therefore, it will also affect the high acceptance of coffee [16]. Clark [17] also stated that flavor is the most difficult component to assess because of the combination of aroma and taste in the mouth so that the flavor component plays an important role in the acceptance score of the food or drink being tested, so it is not a coincidence that the panelists gave weight to the importance of flavor.

However, the fragrance is considered as the second priority after flavor. The fragrance is the aroma of coffee after being ground and then brewed for consumption [18]. The coffee fragrance appears due to the presence of volatile compounds possessed by coffee so that it is captured by the human sense of smell [19]. According to Purwanto [20], the characteristic of the coffee fragrance can reflect the taste of the coffee. The aroma quality produced by coffee will differ depending on the coffee-producing region. Sulistyowati [21] had confirmed that the aroma of Gayo peaberry arabica coffee grown in the Gayo highlands has good quality.

The third priority is sweetness. It is a perception that emerges as a reaction to carbohydrate content [22]. Carbohydrates that break down into glucose will affect sweetness; the higher the glucose content, the sweeter the coffee taste [23]. Panelists also argued that coffee served hot can give a sweeter taste than that of served cold. Oktadina et al. [24] had demonstrated that the Brix degree of Gayo arabica coffee is higher and the coffee tastes sweeter. According to Dairobbi et al. [25], the sweetness criterion is one of the most important criteria in sensory assessment because sweetness has its own sensation with the resulting natural taste.

Furthermore, the acidity and the body criteria were accepted as last alternative at weight of 0.115 and 0.111, respectively. This finding was supported by Cheng et al. [26]. The acidity can be affected by the maturity of the coffee beans and the processing process, especially the fermentation process. As the weight of acidity and body are very low, it represented that the Gayo peaberry arabica evaluated was not dominant factor to taste of this coffee. Anggara et al. [27] reported that the high level of acidity made the coffee taste unpleasant, while Panggabean [28] had also revealed that the thicker the coffee, the more panelists would like the coffee because it has a stronger taste.

### Selection of best coffee varieties and processing

Different varieties and coffee processing methods will produce different tastes so that the weight of the panelists' assessment would also be different for each variety and processing method assessed [29]. Coffee varieties were tested based on taste, which is the standard for arabica coffee assessment following the assessment of coffee taste criteria, namely fragrance, flavor, acidity, body, and sweetness, in line with the research by Yusianto et al. [30] and Bekele et al. [31].

After selecting the best criteria of sensory evaluation, the next investigation was done to select the best coffee varieties and processing methods. Based on the alternative weights at level 3 hierarchical structure (Fig. 3), it can be concluded that the variety and processing method had influenced the taste of Gayo peaberry arabica coffee. This finding is in line with Supriadi et al. [32] and Joet et al. [33].

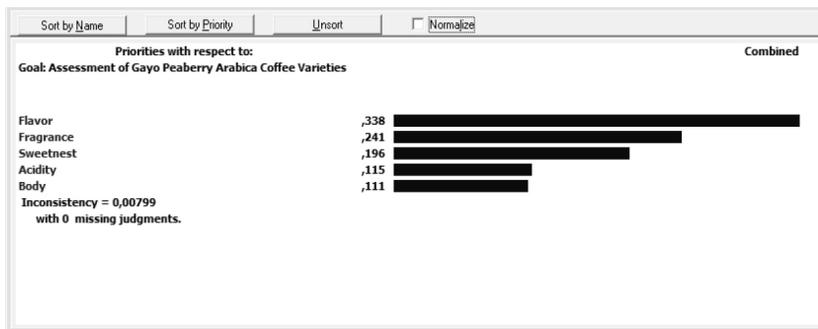


Fig. 2. Selection of taste criteria for Gayo peaberry arabica coffee

Results showed that the Tim-tim variety with fully-washed processing received the highest priority (0.203) compared to other treatments with a consistency ratio of 0.01. According to Tari et al. [34] the taste of Tim-tim Gayo peaberry arabica coffee processed using the fully-washed method has a unique taste. Tim-tim variety provides higher flavor and strong fragrance. Wahyuni [35] had mentioned that the Tim-tim variety processed by the fully-washed method had a strong enzymatic aroma and flavor. Supporting this finding, Ferreira et al. [36] stated that processing coffee with the fully-washed method is better than processing with the semi-washed because the mucus washed on the beans after the fermentation process can improve the body, taste, and aroma. The aroma is improved by forming flavor precursors [37].

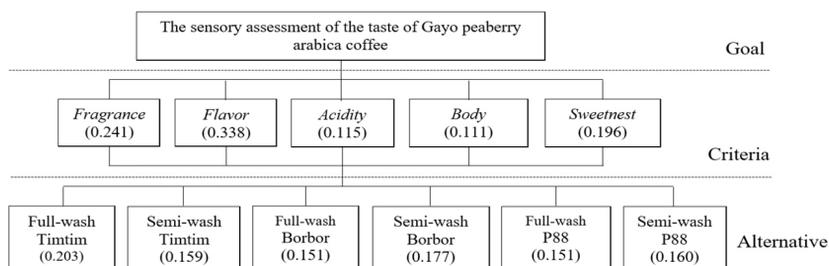
The second priority level alternative was the semi-washed Bor-bor variety at weight of 0.177. The Bor-bor variety is a variety that resulted from the arti-

ficial selection of the Lini S and Catimor populations which are often referred to as the Gayo 2 variety. In general, the taste of the Bor-bor variety has high acidity, a thick body, and thick sweetness [38]. The panelists described that the fragrance and flavor of this combination were very balanced.

The other interesting findings from this research is that Tim-Tim variety is better to process through fully-washed method, but Bor-bor and P88 varieties are better to process by using semi-washed method. The Tim-Tim variety is more desirable when processed using the fully-washed method because the resulting flavor is more complex and delicious. However, the Bor-bor variety and P88 variety have low acidity level. Of course, the product acceptance of Bor-bor variety and P88 variety looks very different from Tim-tim variety, for which fully-washed processing is preferred, where Bor-bor variety and P88 variety are preferably processed semi-washed.

Lastly these results were a recommendation that certain processing methods and varieties give different taste sensations, so to determine a coffee product that has the highest acceptance rate can be conducted through a more intensive study of the coffee, especially regarding the varieties and processing methods used.

Applying the AHP method in multi-criteria decision-making is very easy to use and understand because it handles several criteria with certain permitted consistency values [39]. This method considers human judgments, experiences, perceptions and feelings in the decision-making process [13]. The perceptions included here are the panelists' perceptions who understand the problems to be resolved [40]. To determine the level of data consistency obtained, the AHP method calculation is also equipped with a Consistency Index calculation [41] Alternative priorities are consistent if it has a consistency Index value of  $\leq 0.1$ ; the alternative strategy is acceptable [42].



**Fig. 3.** Hierarchy structure of sensory assessment of the taste of Gayo peaberry arabica coffee

## Conclusion

The study concluded that the most important criteria to determine the priority of Gayo peaberry arabica coffee taste to be accepted by panelists is the flavor criterion (0.338), followed by other criteria i.e., fragrance (0.241), sweetness (0.196), acidity (0.115), and body (0.111). The overall consistency weight of all level was less than 10%. Among the Gayo peaberry arabica coffee products, Tim-tim variety is better to be processed through the fully-washed method. In contrast, Bor-bor and P88 varieties are better to process under semi-washed method. The best combination according to AHP analysis was the Gayo peaberry coffee of Tim-Tim variety processed by fully-washed method.

**Acknowledgements.** The authors would like to thank Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) from Kementerian RISTEK DIKTI for funding this research through the “Penelitian Terapan Kompetitif Nasional (PTKN) 2022” program, No. 145/E5.PG.02.00.PT/2022.

## References

1. Fadhil R., Maarif M.S., Bantacut T., Hermawan A. Assessment of Innovation Potential of Gayo Coffee Agroindustry. *Quality Innovation Prosperity*, 2017, vol. 21 (3), pp.114-126. <https://doi.org/10.12776/qip.v21i3.888>
2. Raharjo B.T. *Analisis Penentu Ekspor Kopi Indonesia* [Analysis of Determinants of Indonesian Coffee Exports]. Universitas Brawijaya. Malang, 2013.
3. Fadhil R., Maarif M.S., Bantacut T., Hermawan A. Formulation for development strategy of Gayo Coffee Agroindustry Institution Using Interpretive Structural Modelling (ISM). *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendeliane Brunensis*, 2018, vol. 66 (2), pp.487-495. <https://doi.org/10.11118/actaun201866020487>
4. Meister E. *What Makes Peaberry Coffee So Special*. 2018. <http://drinks seriouseats.com/2011/Wont-you-be-my-peaberry-what-are-peaberrycoffee-beans.html>
5. Pimenta T.V., Pereira R.G.F.A., Correa J.L.G., Silva J.R. Roasting processing of dry coffee cherry: influence of grain shape and temperature on physical, chemical and sensorial grain properties. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, 2009, vol. 27, no. 1.
6. Wahono B. Effects of peaberry coffee on the sexual behaviour and the blood testosterone levels of the male mouse (*mus musculus*). *Proceeding 3rd International Conference on Research. Implementation and Education of Mathematics and Science*, 16-17 May 2016, Yogyakarta, B21-B25.

7. Batch V., Kidmose U.I., Bjorn K.G.I., Edelenbos M. Effect of harvest time and variety on sensory quality and chemical composition of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers. *Food Chemistry*, 2012, vol. 133, pp. 82-89. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.12.075>
8. Kraujalytė K., Leitner R.P. Venskutonis, Chemical and sensor characterisation of aroma of *Viburnum opulus* fruits by solid phase microextraction-gas chromatography-olfactometry. *Journal Food Chemistry*, 2012, vol. 132 (2), pp. 717-723. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.007>
9. Saaty T.L. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 2008, vol. 1 (1), pp. 83-98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
10. Fadhil R., Maarif M.S., Bantacut T., Hermawan A. A prospective strategy for institutional development of Gayo coffee agroindustry in Aceh province, Indonesia. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2018, vol. 24 (6), pp. 959–966. <http://www.agrojournal.org/24/06-05.pdf>
11. Najiyati S., Danarti. *Kopi, Budidaya dan Penanganan Lepas Panes* [Cultivation and Off-Harvest Handling]. Jakarta: Penerbar Swadaya, (in Indonesian), 2004.
12. Expert-Choice. Expert choice version 11. Expert choice resource aligner. Expert Choice, Inc, 2004.
13. Najla M., Shajina. Decision Making in Crane Selection: AHP and Expert Choice Approach. *International Journal of Science and Research*, 2016, vol. 7 (4), pp. 1317-1318. <https://www.ijsr.net/archive/v7i4/ART20181626.pdf>
14. Hidayatullah, Fauzan A. Pengaruh Lingkungan dan Elevasi Terhadap Kualitas Fitokimia dan Cita Rasa Kopi Robusta Muria Kudus. *Jurnal Bioterdidik: Wahana Ekspresi Ilmiah*, 2020, vol. 8 (3), pp. 17-32. <http://dx.doi.org/10.23960/jbt.v8i3.21629>
15. Hayati R., Marliah A. Rosita F. Sifat Kimia dan Evaluasi Sensori Bubuk Kopi Arabika. *Jurnal Floratek*, 2012, vol. 7 (1), pp. 66-75. <https://core.ac.uk/download/pdf/289895452.pdf>
16. Ranaswari P.A., Mulyani S., Sadyasmara C.A.B. Analisis Kepuasan Konsumen Terhadap Kualitas Produk Kopi dan Kualitas Pelayanan menggunakan Metode Importance Performance Analysis (Studi Kasus Di Geo Coffee) [Analysis of Consumer Satisfaction of Coffee Product Quality and Service Quality using the Importance Performance Analysis Method (Case Study in Geo Coffee)]. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*, 2018, vol. 6 (2), pp. 147-157.
17. Clarke C. *The Science of ice cream*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2004.
18. Esquivel P., Victor M., Jimenez. Functional Properties of Coffee and Coffee by Products. *Food Research International*, 2012, vol. 46, pp. 488-495. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.028>

19. Baggenstoss J. *Coffee Roasting and Quenching Technology Formation and Stability of Aroma Compounds*. Doctoral thesis, Zürich: Eidgenössische Technische Hochschule. 2008.
20. Purwanto E.H., Rubiyo R., Towaha J. Karakteristik Mutu dan Citarasa Kopi Robusta Klom BP 42, BP 358, dan BP 308 Asal Bali dan Lampung [The development of quality fragrance coffee drink through planning of wanatani cultivation: Forest forests Batutegei Lampung]. *SIRINOV*, 2015, vol. 3 (2), pp. 67–74.
21. Sulistyowati. *Metode uji citarasa Kopi. Materi Pelatihan Uji Citarasa Kopi* [Coffee flavor test method. Coffee Flavor Test Training Materials]. Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia. Jember, 2002.
22. SCAA [Specialty Coffee Association of America]. *SCAA Protocols: Cupping Specialty Coffee*. Specialty Coffee Association of America, 2015. <https://www.scaa.org/PDF/resources/cupping-protocols.pdf>
23. Janzen S.O. Chemistry of coffee. In L. Mender, & H.W. Liu (Eds.), *Comprehensive Natural Products II*. Kidlington, UK: Elsevier Ltd. *Chemistry and Biology*, 2010, pp. 1085-1113.
24. Oktadina F.D., Argo B.W., Hermawanto M.B. Pemanfaatan Nanas (*Ananascosus L. Merr*) Untuk Penurunan Kadar Kafein dan Perbaikan Citarasa Kopi (*Coffee sp*) dalam Pembuatan Kopi Bubuk [Utilization of Pineapple (*Ananascosus L. Merr*) to Decrease Caffeine Levels and Improve Coffee Taste (*Coffee sp*) in Making Ground Coffee]. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 2013, vol. 1 (3), pp. 265-273. <https://jkptb.ub.ac.id/index.php/jkptb/article/view/149/140>
25. Dairobi A., Irfan I., Sulaiman I. Kajian Mutu Wine Coffee Arabika Gayo [Quality Study of Wine Coffee Arabika Gayo]. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian Unsyiah*, 2017, vol. 2(4), pp. 822-829. <https://jim.unsyiah.ac.id/JFP/article/view/5426/4972>
26. Cheng B., Furtado A., Smyth H.E., Henry R.J. Influence of Genotype and Environment on Coffee Quality. *Trend in Food Science and Technology*, 2016, vol. 57(A), pp. 20-30. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.003>
27. Anggara A., Marini S. *Kopi Si Hitam Menguntungkan Budidaya dan Pemasaran* [Si hitam coffee is profitable for cultivation and marketing], Yogyakarta: Cahaya Atma Pustaka, 2011.
28. Pangabean E. *Buku Pintar Kopi*, Jakarta: PT Agro Media Pustaka. 2011.
29. Taba J. *Coffee Taste Analysis of an Espresso Coffee Using Nuclear Magnetic Spectroscopy*. Bachelor Thesis Central Ostrobothnia. University of Applied Sciences, Eindhoven, Holland, 2012.
30. Yusianto, Hulupi R., Sulistyowati, Mawardi S., Ismayadi C. Sifat Fisik Kimia dan Citarasa beberapa Varietas Kopi Arabika [Physical, Chemicals and Flavors of Some Varieties of Arabica Coffee]. *Pelita Perkebunan*, 2005, vol. 21 (3), pp. 200-222.

31. Bekele G., Bellachew B., Adugna G., Benti T., Ayano A., Laboisie J.P., Ribeyre F., Bertrand B. *Strengthening Arabica Coffee Quality Breeding Research Strategy in Ethiopia with Respective terroir*, Proceeding of 23<sup>rd</sup> International Conference on Coffee Science, Bali Indonesia, October 3-8, 2010, Indonesia.
32. Supriadi H., Randriani E., Towaha J. Korelasi Antara Ketinggian Tempat, Sifat Kimia Tanah, dan Mutu Fisik Biji Kopi Arabika di Dataran Tinggi Garut [Correlation Between Altitude, Soil Chemical Properties, and Physical Quality of Arabica Coffee Beans in Highland Areas of Garut]. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*, 2016, vol. 3 (1), pp. 45-52.
33. Joet T., Laffargue A., Descoix F., Doubeau S., Bertrand B., De Kochko A., Dusse S. Influence of Environmental factors, Wet Processing and Their Interactions on the Biochemical Composition of Green Arabica Coffee Beans. *Food Chemistry*, 2010, vol. 118 (3), pp. 693-701. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.048>
34. Tari W. Safrizal S., Fadhil R. Evaluasi Sensori Kopi Arabika Gayo Berbagai Varietas berdasarkan Proses Pengolahan Basah dan Semi Basah menggunakan Metode AHP (Analytical Hierarchy Process). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 2022, 7.2.
35. Wahyuni E., Karim A., Anhar A. Analisis Citarasa Kopi Arabika Organik pada Beberapa Ketinggian Tempat dan Cara Pengolahannya di Dataran Tinggi Gayo [Analysis of the Taste of Organic Arabica Coffee at Several Altitude Places and Processing Method in the Gayo Highlands]. *Jurnal Manajemen Sumberdaya Lahan*, 2013, vol. 2 (3), pp. 261–269. <https://jurnal.usk.ac.id/MSDL/article/view/2199/2153>
36. Ferreira G.F., De-Novaes Q.S., Malta M.R., De-Souza S.E. Quality of Coffee Produced in The Southwest Region of Bahia, Brazil Subjected to Different forms of Processing and Drying. *African Journal of Agricultural Research*, 2013, vol. 8 (20), pp. 2334-2339. <https://doi.org/10.5897/AJAR2013.7038>
37. Arruda N.P., Hovell A.M.C., Rezende C.M., Freitas S.P., Couri S., Bizzo H.R. Arabica Coffee Discrimination Between Maturation Stages and Post Harvesting Processing Types Using Solid Phase Microextraction Coupled to Gas Chromatography and Principal Component Analysis. *Quimica Nova*, 2011, vol. 34 (5), pp. 819-824.
38. Kementan. *Statistik Pertanian 2017* (Agricultural Statistics). Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian. Kementerian Pertanian. Jakarta, 2017.
39. Upadhyay K. Application of Analytical Hierarchy Process in Evaluation of Best Sewage Treatment Plant. *International Journal of Science and Research*, 2015, vol. 6 (6), pp. 259-264. <https://www.ijsr.net/archive/v6i6/ART20174144.pdf>
40. Saaty T.L. *Decision Making for Leader. The Analytical Hierarchy Process for Decision in Complex Word*. Prentice Hall Coy: Ltd, Pittsburgh. 1993.

41. Padmowati, R.D.L.E. *Pengukuran index konsistensi dalam proses pengambilan keputusan menggunakan metode AHP*. In: Seminar Nasional Informatika (SEMNASIF). 2015.
42. Ishizaka A., Labib A. Analytic Hierarchy Process and Expert Choice: Benefit and limitations. *OR Insight*, 2009, vol. 22 (4), pp. 201-220. <https://doi.org/10.1057/ori.2009.10>

#### DATA ABOUT THE AUTHORS

**R. Fadhil**, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Agricultural Mechanization and Workshop Research Center (PUSMEPTAN)  
*Universitas Syiah Kuala*  
*Darussalam 23111, Banda Aceh, Indonesia*  
*rahmat.fadhil@unsyiah.ac.id*

**S. Safrizal**, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture  
*Universitas Syiah Kuala*  
*Darussalam 23111, Banda Aceh, Indonesia*

**R. Khathir**, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture  
*Universitas Syiah Kuala*  
*Darussalam 23111, Banda Aceh, Indonesia*

**P. Navisah**, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture  
*Universitas Syiah Kuala*  
*Darussalam 23111, Banda Aceh, Indonesia*

Поступила 19.10.2022

После рецензирования 25.11.2022

Принята 29.12.2022

Received 19.10.2022

Revised 25.11.2022

Accepted 29.12.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-71-98

УДК 614.842/.847:631.145/.147



Научная статья | Агрономия

## О НОВОМ УРОВНЕ САМООРГАНИЗАЦИИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЗЕМЛЕДЕЛИЕМ

*В.В. Белозеров, И.В. Ворошилов,  
О.И. Катин, М.А. Никулин*

**Актуальность.** Согласно рекомендациям ФАО ООН, на каждого жителя Земли необходимо производить по одной тонне зерна для производства хлеба и кормов для животноводства и птицеводства, чтобы получать мясо, молоко, яйца и т.д. Однако сегодняшний уровень 3 раза ниже, что подтверждает актуальность проведенных исследований.

**Методы и средства.** В статье, на основе системного анализа существующих подходов в земледелии, осуществлен системный синтез наукоемких технологических процессов в сельском хозяйстве, а также противопожарной защиты сельхозугодий и лесных массивов. Приведены примеры современных решений в этой области, включая мониторинг сельхозугодий и лесов с помощью дронов, малой авиации и вертолетов. Описываются последние достижения в разработке дирижаблей для этих целей, включая запатентованные авторами способы обнаружения и борьбы с пожарами с применением нанотехнологии газоразделения для замены воды на атмосферный азот.

**Результаты.** Определены условия самоорганизации технологических процессов в земледелии, на основе которых осуществлен синтез модели «агро-пожарного комбайна-дирижабля», объединяющего «внутри себя» не только функции пожаротушения сепарированным атмосферным азотом, но и все агротехнологии и технику точного земледелия - «без тракторов, сеялок, уборочных комбайнов, грузовых автомобилей и мелиоративных систем». Представлены результаты «энергетической оценки» эффективности внедрения естественных инноваций в этой области.

**Заключение.** В результате проведенных исследований сделан вывод, что агро-пожарные комбайны-дирижабли могут реализовать не только технологии тушения ландшафтных и лесных пожаров, но и обладают неконкури-

руемым качеством в организации сельского хозяйства, за счет предлагаемой интеграции указанных инновационных решений.

**Ключевые слова:** агротехнологии; беспилотные летательные аппараты; сельскохозяйственная авиация; противопожарная авиация; мембранные сепараторы воздуха; интеграция технологий безопасности и агротехнологий; гибридные дирижабли

**Для цитирования.** Белозеров В.В., Ворошилов И.В., Катин О.И., Никулин М.А. О новом уровне самоорганизации в системе управления земледелием // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №3. С. 71-98. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-71-98

Original article | Agronomy

## ABOUT A NEW LEVEL OF SELF-ORGANIZATION IN THE AGRICULTURAL MANAGEMENT SYSTEM

*V.V. Belozеров, I.V. Voroshilov,  
O.I. Katin, M.A. Nikulin*

**Background.** According to the UN FAO recommendations, it is necessary to produce one ton of grain for each inhabitant of the Earth for the production of bread and feed for livestock and poultry farming in order to obtain meat, milk, eggs, etc. However, the current level is 3 times lower, which confirms the relevance of the research.

**Methods and means.** In the article, based on a systematic analysis of existing approaches in agriculture, a systematic synthesis of high-tech technological processes in agriculture, as well as fire protection of farmland and forests, was carried out. Examples of modern solutions in this area are given, including monitoring of farmland and forests using unmanned drones, small aircraft and helicopters. The latest developments in the development of airships for these purposes are described, including methods patented by the authors for detecting and fighting fires using gas separation nanotechnology to replace water with atmospheric nitrogen.

**Results.** The conditions for self-organization of technological processes in agriculture are determined, on the basis of which the synthesis of the model of an “agro-fire combine-airship” is carried out, which combines “inside itself” not only the functions of fire extinguishing with separated atmospheric nitrogen, but also all agricultural technologies and precision farming techniques – “without tractors,

*seeders, combine harvesters, trucks and land reclamation systems. The results of the "energy assessment" of the effectiveness of the introduction of domestic innovations in this area are presented.*

**Conclusion.** *As a result of the research, it was concluded that agro-fire combines-airships can implement not only technologies for extinguishing landscape and forest fires, but also have an unrivaled quality in the organization of agriculture, due to the proposed integration of these innovative solutions.*

**Keywords:** *agricultural technologies; unmanned aerial vehicles; agricultural aviation; fire-fighting aviation; membrane air separators; integration of safety technologies and agricultural technologies; hybrid airships*

**For citation.** *Belozеров V.V., Voroshilov I.V., Katin O.I., Nikulin M.A. About a New Level of Self-Organization in the Agricultural Management System. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 71-98. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-71-98*

## Введение

Продовольственную безопасность и развитие сельского хозяйства в России и в СССР, как правило, связывают с трудами академиков Д.Н. Прянишникова и И.С. Шатилова, причем последний является основоположником методов точного земледелия в растениеводстве, которые были теоретически разработаны и практически внедрены в ряде совхозов и колхозов нашей страны в 70-х годах прошлого столетия, как «автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) в земледелии» [4, 5].

Однако в используемых в настоящее время мировых системах растениеводства, и отечественного в частности, сельхозпроизводители «отошли» и от «природоподобных технологий» беспашотного земледелия, возрожденных в России И.Е. Овсинским в 19 веке [29, 34], и от биодинамического земледелия [37], и от АСУ ТП академика И.С. Шатилова 20-го века [4]. Уместно отметить, что в отличие от европейцев, в Канаде, Бразилии и Аргентине, без вспашки успешно возделывается более половины всех земель [45].

С точки зрения фундаментальной науки, это произошло из-за «потребительской парадигмы» существующих общественно-экономических формаций и неадекватных социально-экономических моделей их развития, включая «устаревшую» концепцию продовольственной и водной безопасности ФАО ООН [14], так как, по-видимому, и политики, и чиновники, и бизнесмены «забыли» о том, что почва является «живой» и нуждается в особом уходе, для сохранения своего плодородия [4, 5, 37].

В то же время не менее сложной и важной задачей является сохранение урожая от природных и техногенных событий [27, 33, 47], в том числе от пожаров сельхозугодий, лесов и торфяников [8, 11, 48], которые не только уничтожают урожаи полей и садов, но делают на долгое время непригодным для посевов верхний слой почвы [4, 6, 29].

В связи с вышеизложенными проблемами, возник ряд научно-технических задач, в частности, по нахождению условий самоорганизации агротехнологий и технологий противопожарной защиты сельхозугодий.

### **Методы и средства**

В настоящее время, и для контроля состояния почв, и для обнаружения пожаров разрабатываются и применяются различные системы мониторинга территорий (полей, садов, лесов и т.д.), начиная от малой авиации, и заканчивая беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) и спутниками [22,32,41], но все это делается бессистемно, т.е. без их взаимной синхронизации, верификации и создания единой базы данных [17, 28, 39].

Как показывает статистика, у малой авиации достаточно большая дальность полета и грузоподъемность, что позволяет не только контролировать большие территории (лесные массивы, сельхозугодия и т.д.), но и обрабатывать поля и сады, однако затраты на их эксплуатацию (особенно вертолетов) являются «неподъемными» для малых хозяйств [2, 22, 32].

Развитие методов и средств оптической навигации привело к бурному росту БПЛА, применяемых в агропромышленном комплексе (АПК), т.к. при мониторинге сельхозугодий (рис.1 «а») они могут обеспечить распознавание многих агрофизических параметров (влажность, распространения болезней и вредителей и т.д.), а также позволяют осуществлять обработку посевов хмисоставами. Однако малая грузоподъемность и небольшое время работы на аккумуляторах делает невозможным применение БПЛА на больших площадях, в удаленных или труднодоступных местах. Поэтому, для решения проблемы было предложено использовать дирижабли, в том числе – гибридные (рис.1 «б»), сочетающие в себе свойства самолетов, дирижаблей и вертолетов, но имеющие эксплуатационные затраты, соизмеримые с грузовым автотранспортом [15,23,26].

Одно из главных преимуществ дирижаблей – минимальные затраты энергии на передвижение и поддержание высоты, т.к. за счет «силы Архимеда» они могут зависать на любой высоте (от сантиметров до сотен метров), сохраняя грузоподъемность, в связи с чем, **затраты на их эксплуатацию, в сотни раз ниже** эксплуатационных затрат малой авиации [15,

16], а стоимость производства – в сотни раз меньше. При этом, с учетом использования гелия, который является инертным газом, а также современных материалов с низким уровнем гелиопроницаемости ( $0,5-1$  л/сут·м<sup>2</sup>), что позволяет ограничиться незначительным пополнением несущего газа в летательный аппарат (2-10% в год от первоначального объема), **расчетная надежность и долговечность в сотни раз больше, а безопасность их применения в тысячи раз выше** [17, 26, 41].

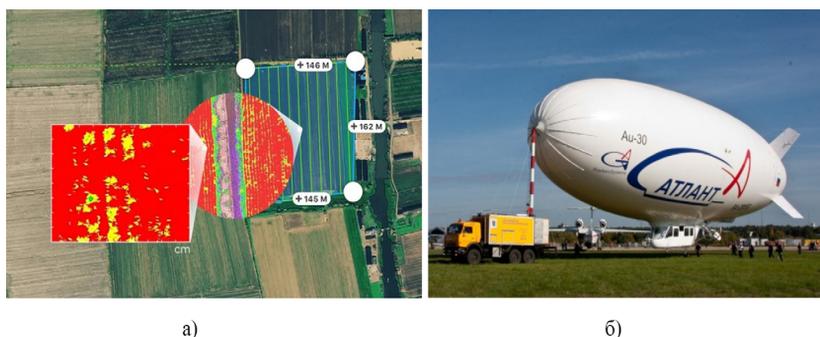


Рис. 1. Сканирование сельхозугодий с БПЛА (а) и дирижабль (б)

Принципиальным преимуществом является тот факт, что для посадки и взлета дирижаблям не требуются специально оборудованные установки и аэродромы, откуда следует их высокая эффективность в решении задач «точного земледелия», т.к. дирижабль, имея грузоподъемность, измеряемую десятками тонн, может быть оснащен любой современной навигационной аппаратурой, измерительными приборами и агротехнологическим оборудованием, в том числе для полива, внесения удобрений и т.д., как на больших площадях сельхозугодий, так и на отдельных участках полей [12, 15, 17].

## Результаты

Статистический анализ пожаров показал, что в весенне-летне-осенние сезоны, т.е. в периоды интенсификации агротехнических процессов растениеводства, садоводства и лесоводства, в т. ч. из-за «человеческого фактора» и высокой температуры воздуха, повышается вероятность возникновения пожаров сельхозугодий и лесных массивов [17, 33, 46].

Авиалесоохрана и МЧС России обладают лучшими в мире противопожарными самолетами (Ил-76ТД и Бе-200 – рис.2 «а» и «б») и вертолетами (Ми-26 и Ми-8 – рис.2 «в» и «г») [2, 28, 35, 36].

Однако даже такая великолепная техника не может «избавиться» от следующих принципиальных недостатков [2, 8, 16, 48]:

- во-первых, **от перерывов в тушении пожаров**, из-за отсутствия аэродромов и водоемов недалеко от очагов пожаров, что приводит к необходимости их дозаправки топливом и/или водой, в результате чего огонь продолжает свое распространение,
- во-вторых, **от невозможности их применения на малых высотах**, из-за помпажа двигателей и/или риска попадания в конвективные потоки и потери управляемости, что резко снижает эффективность применения огнетушащих составов (ОТС),
- в-третьих, **от значительных затрат**, как на эксплуатацию в пожароопасный период, так и на обслуживание авиационной техники и «простой персонала» в зимние периоды.



Рис. 2. Самолеты ИЛ-76Т (а) и БЕ-200 (б), вертолеты Ми-8 (в) и Ми-26 (г)

Для устранения перечисленных выше принципиальных недостатков, были разработаны способы тушения лесных, степных и торфяных пожаров атмосферным азотом [21, 31], защищенные патентами РФ, которые, к сожалению, не реализованы до сих пор:

- для вертолетов Ми-26 (рис.3 «а») с помощью «подвешиваемых» мембранных сепараторов воздуха (МСВ) [10],
- для вертолетов Ми-8 (рис.3 «б») с помощью устанавливаемых термоманнитных сепараторов воздуха (ТМСВ), превращающих поток воздуха от винта вертолета в поток азота, с отводом сепарированного кислорода в сторону двигателя, предотвращая, тем самым его «помпаж», что позволяет «барражировать» над очагами пожаров на небольшой высоте, подавляя пламя азотным потоком [1],
- для дирижаблей с помощью смонтированных на его каркасе МСВ и, размещенными во вспомогательном контейнере (рис.3 «в»), передвижной малогабаритной установкой тушения торфяных пожаров, путем их азотирования с помощью газо-торфяных стволов термо-электро-зондов [9, 11], а также комплекта электрзащитных полос Дудышева (рис. 3 «г»), изобретенных ещё в СССР для предотвращения распространения лесных пожаров, которые (вместо минерализованных полос) блокируют распространение огня гораздо эффективнее, не требуют землеройной техники и могут применяться многократно [18], до чего в США «додумались» только в 2012 году [42].

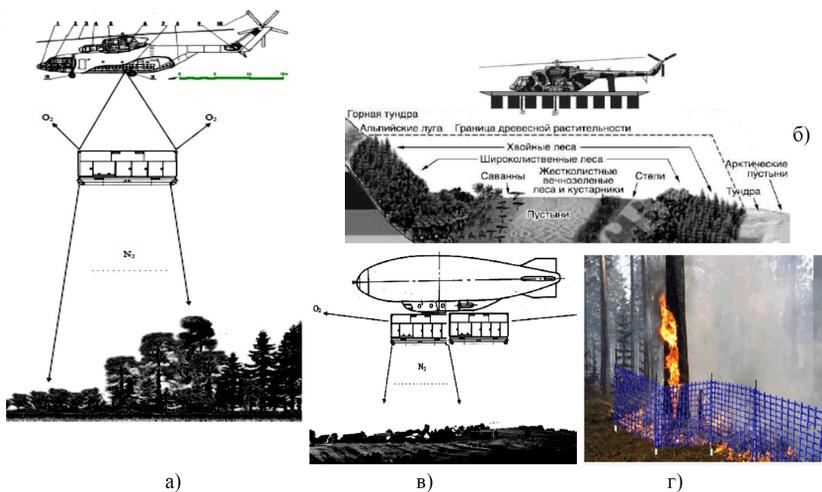
Очевидно, что разработанная модель дирижабля с контейнерной азотной мембранной установкой, выпускаемой Краснодарский компрессорным заводом (рис. 3 «в»), и с перечисленными инновациями, оказывается вне конкуренции со всеми существующими средствами [2, 8, 9, 20].

Объективности ради отметим альтернативную Российскую инновацию, защищенную 13-ю авторскими свидетельствами [6] - автоматизированный мостовой агротехнический комплекс (АМАК), который решает проблемы земледелия также без тракторов и комбайнов, и без авиационных средств (рис. 4).

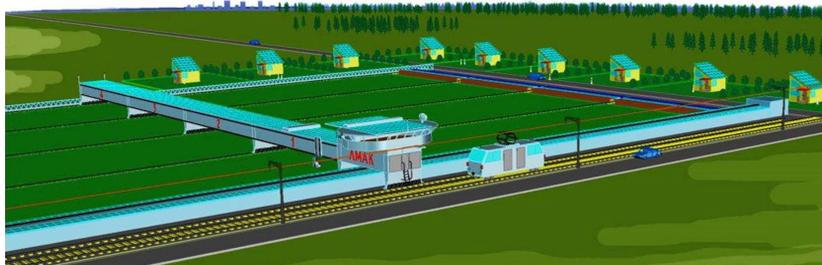
Переход от тракторного земледелия к - заводскому (на основе АМАК-систем) даст многократное повышение урожайности зерна. Средняя урожайность пшеницы в мире составляет 3,14 тонны с гектара (данные Международного независимого института аграрной политики за 2008–2015 годы). Такая низкая урожайность обусловлена тем, что **в тракторном земледелии поверхностный слой почвы многократно утрамбовывается и укатывается многочисленной самоходной и прицепной техникой, прак-**

**тически не применяется искусственное орошение** и т.д. В заводском земледелии на основе АМАК-систем указанных недостатков нет [6]:

- поверхностный слой почвы не уплотняется ничьими ходовыми частями;
- каждое растение индивидуально по всему полю дозировано в автоматическом режиме орошается в течение всего вегетационного периода;
- борьба с вредителями растений ведётся в любое время суток по всему полю с помощью электромагнитных, электроискровых, лазерных и иных методов и устройств, не использующих ядохимикаты;
- в режиме заводского земледелия на основе АМАК-систем можно повысить среднюю урожайность зерна до 10 тонн с гектара.



**Рис. 3.** Тушение лесных и ландшафтных пожаров Ми-26 (а), Ми-8 (б) и дирижаблем



**Рис. 4.** Проект автоматизированного мостового агротехнического комплекса (АМАК)

Однако «судьба» этой отечественной инновации, разработанной в прошлом веке, также «оказалась несчастливой», наверное, из-за «следующих недостатков», устраняющих «различия между городом и селом»:

- наличия ровных площадей под строительство завода;
- необходимости значительных капитальных вложений на строительство, водоснабжение, электрификацию, автоматизацию и т.д.;
- малое количество рабочих мест по обслуживанию АМАК, но высокие требования к квалификации персонала;
- наличие сельскохозяйственной и автомобильной техники, которая выпускалась массово и стоила недорого, а также не требовала высокой квалификации сельских тружеников.

Возвращаясь к предлагаемым инновациям, отметим, что существенным преимуществом дирижабля с МСВ и со вспомогательным контейнером для агротехнологий и пожарной техники является то, что они, составляя «1-й этаж» комплекса жесткой подвески дирижабля, заменяют необходимые «причальные устройства» в силу своих массогабаритных характеристик (габариты контейнера с МСВ - 11,0×2,5×3,6 м., масса – 21500 кг; габариты и вес контейнера с пожарной техникой и оборудованием для агротехнологий, почти такие же), но главное в том, что появляется возможность привлечения «агропожарных дирижаблей» региональными службами Рослесхоза и МЧС для тушения пожаров, т.к. после «работы на полях» они могли бы осуществлять патрулирование сельхозугодий и лесных массивов, обеспечивая раннее обнаружение и подавление загораний атмосферным азотом [9, 13, 17, 46, 48].

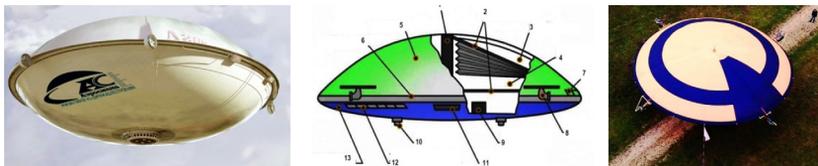
Принципиальным достоинством такой интеграции являлся так же тот факт, что при необходимости во вспомогательном контейнере, закрепленном к несущему корпусу и кабине пилота, **можно было располагать** не только специальную технику, но и **агроспециалистов и/или пожарных-спасателей, легко десантируемых в требуемое место без парашютов**, для выполнения агротехнологий точного земледелия [4,8] и/или организации противопожарной обороны [11,13].

Дальнейшие исследования возможного применения дирижаблей, привели к идее создания «агропожарного комбайна-дирижабля», который сможет не только контролировать и осуществлять полив сельхозугодий, вместо мелиоративных систем, а также тушить пожары атмосферным азотом, но и:

- **обрабатывать почву и сеять семена с более высокой скоростью и качеством «навесными орудиями» такого комбайна, выдвигаемыми из сменного контейнера дирижабля, который «парит над землей», не повреждая почву колесами и гусеницами тракторов;**

- **осуществлять «капельное орошение»** без укладки труб и капельниц, а также «корневое внесение удобрений», если для подачи воды и растворов удобрений использовать «газоторфяные стволы-термо-электро-зонды» (ГТСТЭЗ) из «пожарно-технического комплекта» профилактики и тушения торфяных пожаров с МСВ;

- **собирать урожай** с более высокой скоростью и качеством «навесными косилками» такого комбайна, выдвигаемыми из сменного контейнера дирижабля, который «парит над землей», **не повреждая верхний слой почвы колесами комбайна и грузовыми автомобилями**, в которые в настоящее время пересыпается зерно из комбайна, т. к., заполнив свою емкость урожаем, дирижабль может оттранспортировать его самостоятельно и вернуться.



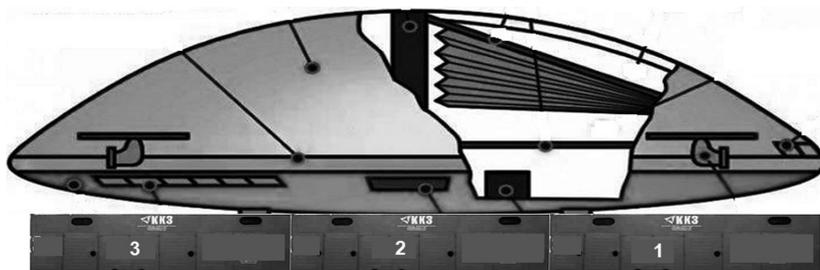
**Рис. 5.** Гибридные дирижабли линзообразной формы «Аэросмена»:  
 1- столб корпуса; 2- каркас; 3 – гелий; 4 – воздух; 5 – оболочка; 6 – кольцо тора; 7 – кабина экипажа; 8 – силовая установка; 9 – энергоблок; 10 – шасси;  
 11 – пандус; 12 – жилые отсеки; 13 – грузовой отсек

В отличие от предложенных ранее моделей [8,13,16], был осуществлен синтез модели «агро-пожарного комбайна-дирижабля» (АПКД) на базе отечественных гибридных дирижаблей линзообразной формы «Аэросмена» (рис. 5), защищенных Патентом РФ [12, 17, 20, 23].

Дело в том, что «дискообразная форма» дирижабля оказалась более устойчивой к воздействиям ветра, что очень важно для АПКД, с точки зрения точности позиционирования при посеве, а также при использовании динамической системы капельного орошения и корневого внесения удобрений.

Предварительная компоновка показала (рис.6), что дирижабль «Аэросмена» грузоподъемностью в 60 тонн с 50-ти метровым диаметром и высотой в 36 метров, является оптимальным [20,23], как с точки зрения компоновки мембранной станции и вспомогательного контейнера для пожарной техники и спасателей (или агроспециалистов), так и для сменного контейнера с «выдвижной/навесной сельхозтехникой», подключаемой к приводу от дизеля МСВ мощностью 750 КВт, который переключается

на мембранную азотную станции при следовании на пожар, а в остальное время осуществляет привод следующих «выдвижных органов сельхоз-техники»:



**Рис. 6.** Схема агропожарного комбайна-дирижабля: 1 – сменный контейнер (с выдвижными сельскохозяйственными агрегатами); 2 – контейнерная мембранная станция; 3 – вспомогательный контейнер (с пожарной или/и агротехникой и спасателями/специалистами)

- для любых видов обработки почвы (отвальной и безотвальной) [4, 29, 34];

- для посева на любую глубину и капельного полива любых культур с точным позиционированием, с помощью «выдвижных» 3-х метровых ГТ-СТЭЗ из «пожарно-технического комплекта» МСВ [11];

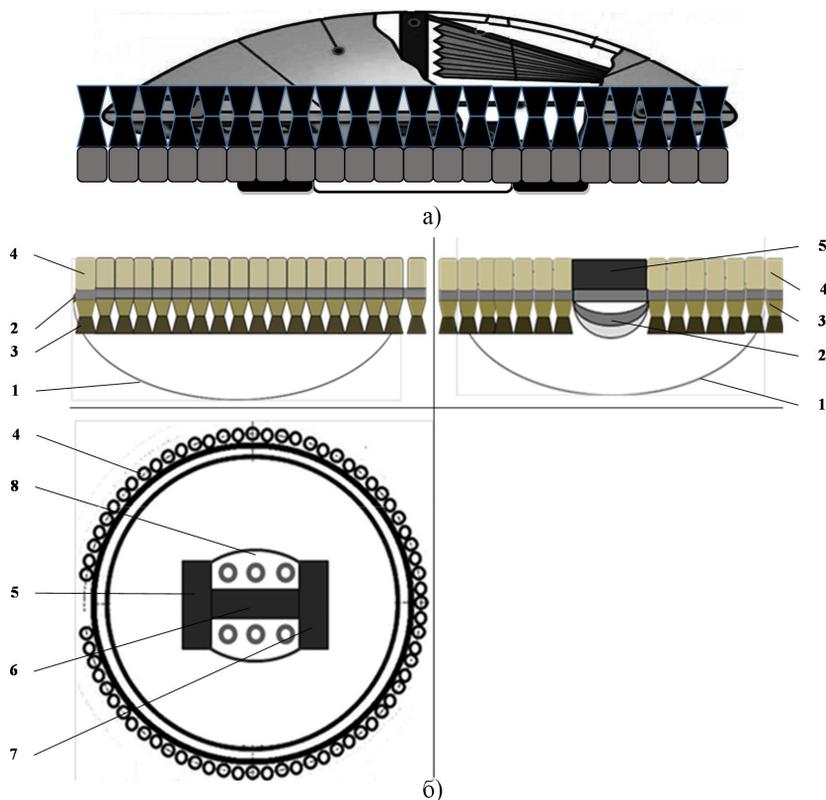
- для внесения удобрений (порций в жидкой, вязкой и порошковой фазах) с помощью «азотных импульсов» каскада низкого давления МСВ через те же ГТСТЭЗ [11,17];

- для сбора урожая любых культур (пшеницы, кукурузы, подсолнечника, хлопка и т.д.), т.к. АПКД позволяет держать требуемую высоту и точность позиционирования над растениями, а набор необходимых «сельхозинструментов», включая емкость для собираемой культуры, заранее компонуется в сменных контейнерах;

- для рекультивации почвы после сбора урожая.

Площадь поверхности купола «Аэросмены» ( $\approx 4000$  кв. м.), а также скорости потоков воздуха, обтекающих дирижабль (от 1 до 40 м/с), позволяют поставить задачи автономизации обеспечения его «возобновляемыми ресурсами», т.е. электроэнергией и пресной водой с помощью ветро-гидро-электрогенераторов и солнечных батарей [12, 44], чтобы, во-первых, перевести работу специального оборудования и двигателей на «бесконечное электрическое питание», чем избавиться от топлива и необходимости его дозаправки, во-вторых, обеспечить пополнение водных запасов ди-

рижабля за счет атмосферной влаги, для «бесконечного полива» сельскохозяйственных культур, в-третьих, получить возможность «бесконечной длительности и дальности» передвижения АПКД, в т.ч. для тушения пожаров «бесконечным огнетушащим составом», коим является сепарированный из воздуха азот.



**Рис. 7.** Вид сбоку (а) и проекции модели АПКД (б-вид снизу с 2-мя ресиверами по 3 сопла): 1 – купол гибридного дирижабля; 2 – кабина экипажа; 3 – «Шуховские» ветро-электрогенераторы; 4 – «Вентури»-генераторы пресной воды; 5 – сменный контейнер с сельхозорудиями; 6 – контейнер мембранной азотной станции (с электроприводом и дизелем резерва) 7 – вспомогательный контейнер; 8 – ресивер высокого давления с соплами Лавалья.

Дело в том, что на каждый квадратный метр земной поверхности от солнца доходит в среднем 1,0 кВт энергии, следовательно (в зависимо-

сти от КПД солнечных батарей), с поверхности дирижабля «Аэросмена» можно получить до 1,0 МВт электроэнергии. Однако, непостоянство солнечного освещения требует в этом случае дублирования источника электроэнергии, что может быть осуществлено с помощью электро-ветрогенераторов, а учитывая указанный выше диапазон скоростей воздушного потока, речь может идти только о ветроустойчивых малогабаритных установках с вертикальным ротором, которые имеют «эффект волчка», и могут располагаться в требуемом количестве по периметру «тарелки», на 150 метрах которого можно разместить, например, более 70 «Шуховских электро-ветрогенераторов» (рис. 7), что позволит получить до 1 МВт электроэнергии [3, 12, 19, 44].

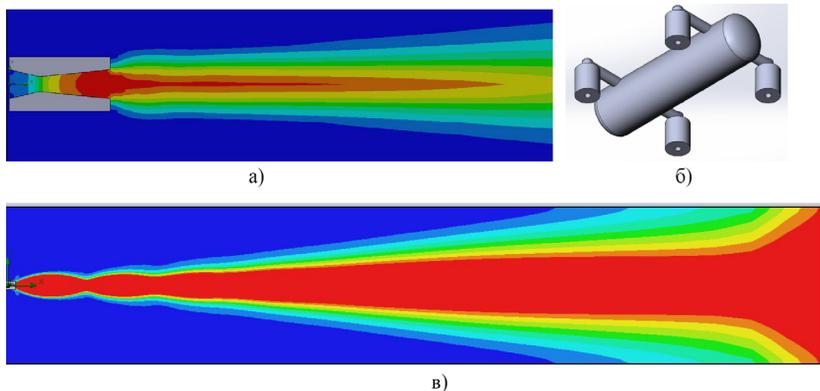
Конденсировать атмосферную воду можно с помощью отечественных гидропанелей, которые следует также расположить по «куполу Аэросмены» (например, попеременно с солнечными панелями), что позволит получить до 10 тонн воды в сутки, а дублирование получения пресной воды можно осуществить с помощью труб Вентури, сопрягаемых с указанными электро-ветрогенераторами (рис. 7), по аналогии с установками, защищенными патентами РФ [3, 7, 12, 44].

Такая компоновка, во-первых, восстанавливает устойчивость, присущую гибридным дирижаблям линзообразной формы «Аэросмена», что позволяет работать с необходимой точностью (1-3 см.) и скоростями передвижения АПКД над полями сельскохозяйственных культур (от 3,6 до 14,4 км/ч), а во-вторых, повышает удобство и эффективность управления АПКД при обработке почвы, севе, уборке урожая и транспортировке его без потерь в пункты обработки и хранения. При этом, проведенный численный расчет показал, что даже ресивер высокого давления с 4-мя соплами Лавалья позволит тушить любые ландшафтные пожары (рис. 8) с высоты 50 метров [12].

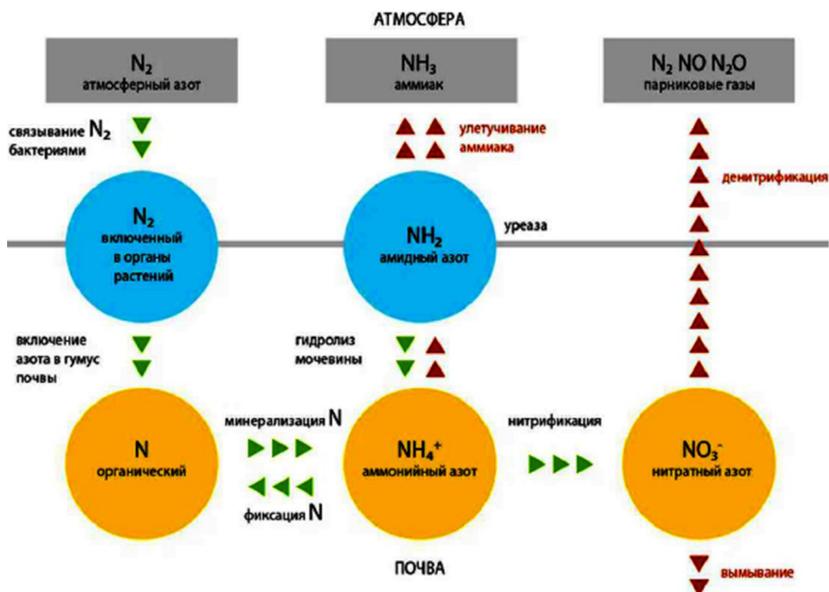
Уместно отметить, что в почве существует несколько десятков видов микроорганизмов, которые способны связывать атмосферный азот, а многие растения из семейства бобовых, благодаря симбиозу с клубеньковыми бактериями, способны фиксировать атмосферный азот (рис. 9), поэтому «азотирование почвы» при посеве, «динамическом поливе» и внесении удобрений с помощью «азотных импульсов» каскада низкого давления МСВ через ГТ-СТЭЗ, может снизить количество необходимых удобрений [38].

Дело в том, что потери азота в растениеводстве является важной и сложной мировой проблемой. Так, например, в России, доля применения азотных удобрений составляет 64%, или 1,54 млн. тонн (по действующему

веществу), и по некоторым оценкам российских ученых, из 100 млрд. рублей в среднем, которые ежегодно тратятся на удобрения, около 30 млрд. теряются впустую из-за неэффективного азотного питания [4, 5, 38].



**Рис. 8.** Разрез сопла Лавалья (а), вариант ресивера высокого давления с 4-мя соплами Лавалья (б), структура сверхзвукового «азотного пакета» на расстоянии 50 метров до очага пожара (в)



**Рис. 9.** Преобразование азота в почве

Таким образом, проведенное моделирование, с применением отечественных научных трудов и инноваций, доказало возможность и целесообразность создания на базе гибридных дирижаблей линзообразной формы «Аэросмена», агропожарных комбайнов, способных реализовать современные наукоемкие технологии земледелия и противопожарной обороны сельхозугодий и лесных массивов России, и оставалось оценить экономическую эффективность внедрения предлагаемых инноваций.

Общепринятым подходом в этом случае, является затратный подход, который представляет *«совокупность методов оценки стоимости объекта оценки, основанных на определении затрат, необходимых для приобретения, воспроизводства либо замещения объекта оценки с учетом износа и устаревания»* [40], и оценка эффективности новой пожарной техники и пожарно-профилактических мероприятий в области противопожарной защиты (как сокращение социально-экономических потерь от пожаров), методологически также соответствует ему [24].

Однако в данном случае, в связи с неопределенностью затрат на внедрение предлагаемых инноваций, было решено использовать энергетический подход в оценке стоимости продукции сельского хозяйства на примере зерновых культур, который является разновидностью затратного подхода, применяемого в теории и практике оценочной деятельности. При этом сущность энергетического подхода *«заключается в выявлении и количественной оценке энергетических затрат на воспроизводство объекта оценки с последующим переводом этих затрат в стоимостные»* показатели или в проценты от них [25, 30].

Технологию производства зерна можно представить, как последовательность выполнения 5-ти агротехнологических этапов [30]:

- первый – обработка почвы (4630 МДж/га);
- второй – предпосевная обработка почвы (1840 МДж/га);
- третий – подготовка семян и посев (2180 МДж/га);
- четвертый – уход за растениями (1950 МДж/га);
- пятый – уборка (3100 МДж/га).

Усредненные энергозатраты на производство зерна оцениваются в 13700 МДж/га, в которых доля механизированного труда составляет 99,8%, а ручного – 0,2%, т.к. не превышает 30 МДж/га [25].

Энергетический эквивалент трудовых затрат работы механизаторов, в среднем, составляет 1,26 МДж/чел-ч (8,82 МДж/смена), следовательно, стоимостной эквивалент единицы затраченной трудовой энергии механизатора (тракториста/машиниста/шофёра) равен 106,45 руб./МДж [30].

Ужесточим оценки, полагая, что в каждом из указанных агротехнологических этапов участвует два механизатора, функции которых в нашем случае выполняет экипаж АПКД из 2-х человек. Тогда, учитывая, что за счет возобновляемых источников энергии и воды АПКД «экономит 100% оставшихся энергозатрат», получим:

$$13700 \text{ МДж/га} - 5 \cdot 2 \cdot 1,26 \text{ МДж} = 13687,4 \text{ МДж/га.}$$

Допустим, что стоимость 1 МДж/га остальных затрат равна стоимости 1 МДж/га «ручного труда механизатора». Тогда применение АПКД в растениеводстве может сэкономить до 99,9% затрат на производства зерна, что в стоимостном выражении на 1 га, при обработке его в течение часа составит:

$$13687,4 \text{ МДж/га} \cdot 106,45 \text{ руб./Мдж} = 1,457 \text{ млн. руб.,}$$

или в пересчете на зерновые культуры (51,1%) на всех посевных площадях России, которые в 2020 году составили 79 921,2 тыс. га. [39], имеем:

$$1,457 \text{ млн. руб.} \cdot 79921,2 \text{ тыс. га} \cdot 0,511 = \mathbf{59,5 \text{ трлн. руб.}}$$

Уместно отметить, что **полученный результат, является нижней граничной оценкой эффективности внедрения предлагаемых инноваций, т.к. не учитывает повышения урожайности**, которая, при внедрении АСУТП земледелия академика И.С. Шатилова составляла до 300% [4], **без учета затрат на мелиорацию» и «экономии удобрений»** [38], а также, **без учета сокращения социально-экономических потерь от пожаров объектов сельского и лесного хозяйства** [24, 33].

### **Заключение**

*«Нельзя автоматизировать беспорядок, ибо в результате этого получится автоматизированный хаос»* – говорил академик В.М. Глушков. Поэтому на основе системного анализа агротехнологий земледелия и растениеводства, в частности, трудов отечественных ученых – И.Е. Овсинского, академиков Д.Н. Прянишникова и И.С. Шатилова, была выполнена оптимизация указанных процессов и осуществлен системный синтез модели агро-пожарного комбайна-дирижабля (АПКД).

Как показало моделирование, АПКД может не только вывести отечественное земледелие на неконкурируемый уровень производства и качества сельскохозяйственной продукции, но и создать основу, для взаимодействия региональных подразделений Рослесхоза, Росагропрома и МЧС РФ, в целях обеспечения продовольственной и пожарной безопасности России, а именно:

– во-первых, путем отвальной или безотвальной обработки почвы и посева сельскохозяйственных культур с более высокой скоростью и каче-

ством, «навесными орудиями» такого АПКД, выдвигаемыми из сменного контейнера дирижабля, который «парит над землей», **не повреждая верхний слой почвы колесами и гусеницами тракторов;**

– во-вторых, путем применения динамического «капельного орошения», без укладки труб и капельниц, для «корневого внесения» воды и удобрений, если, для подачи воды из 10-ти тонной емкости вспомогательного контейнера и емкостей растворов удобрений, использовать в импульсном режиме «газоторфяные стволы-термозонды» из «пожарно-технического комплекта» (по профилактике и тушению торфяных пожаров) контейнера с МСВ, защищенным патентом РФ, «попутно» осуществляя термо-электро-зондирование почвы;

– в-третьих, путем уборки урожая с более высокой скоростью и качеством «навесными косилками» такого комбайна, выдвигаемыми из сменного контейнера дирижабля, который «парит над землей», **не повреждая верхний слой почвы колесами комбайна и грузовыми автомобилями**, в которые в настоящее время пересыпается зерно из комбайна и вывозится с полей, так как, заполнив емкость урожаем (также порядка 10-тонн), **дирижабль может оттранспортировать его самостоятельно в место обработки** (сушки, сортировки и т.д.), **без потерь из-за «дефектов сельских дорог**», после чего вернуться на поле и продолжить работу,

– в-четвертых, путем оперативного **привлечения к тушению обнаруженных пожаров**, а также **к круглосуточному патрулированию** (при «агротехнологических паузах») по оптимальным маршрутам **территории региона**, включая горные районы, что недоступно ни существующим средствам, ни отдельными службам (МЧС, Рослесхоз, Росагропром) из-за ограниченности материальных и людских ресурсов, **а также безопасного и удобного (без парашютного) «десантирования» агро-специалистов и/или пожарных-спасателей с необходимыми техническими средствами**, располагаемыми во вспомогательном контейнере, в любом месте маршрута, для выполнения агротехнологий точного земледелия и/или организации противопожарной обороны.

Принимая во внимание, что **эксплуатационные затраты на передвижение дирижабля** и его зависание и/или приземление в любом месте региона охраны и/или точного земледелия **на несколько порядков ниже затрат других авиационных средств**, а азотная мембранная станция является «бесконечным источником огнетушащего состава» из атмосферы, что не требует доставки к очагу пожара воды или других огнетушащих средств, **реализация предлагаемого подхода** создает не только науч-

но-технологический приоритет РФ в технологии тушения ландшафтных и лесных пожаров, но и **обладает неконкурируемым качеством в организации сельского хозяйства**, за счет предлагаемой интеграции указанных инновационных решений.

### *Список литературы*

1. Абросимов Д.В., Белозеров В.В., Зимовнов О.В., Никулин М.А., Филимонов М.Н., Белозеров Вл. В. Способ обнаружения и тушения вертолетом ландшафтных пожаров инертными атмосферными газами // Патент РФ на изобретение 2732748; заявл. 18.02.2020; опубл. 22.09.2020 Бюл. № 27.
2. Авиационные системы: экспресс-информация (по материалам зарубежной печати, составитель О.В. Семичастный // ЭИ. 2015. № 49. [Электронный ресурс]. URL: [http://tlib.gosniias.ru/get\\_issue.php?id=33275](http://tlib.gosniias.ru/get_issue.php?id=33275) (дата обращения: 31.05.2022).
3. Автономные системы генерации питьевой воды /Е. Меньшиков, Е. Стриженов, С. Чугаев, А. Школин А. [Электронный ресурс]. URL: <https://s3.dtl.n.ru/unti-prod-people/file/presentation/project/87if11tp96.pdf> (дата обращения: 25.12.2022).
4. Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожая: Принципы АСУ ТП в земледелии / И.С. Шатилов, А.Ф. Чудновский. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. 320 с.
5. Академик Дмитрий Николаевич Прянишников (К 50-летию научной деятельности) / Н. И. Вавилов // Доклады ВАСХНИЛ. 1938, вып. 23-24. С. 3-6.
6. АМАК-система и заводское земледелие / Ю.Н. Жуков, 18.06.2014 [Электронный ресурс]. URL: <http://agrodello.com.ua/tehnika/amak-sistema-i-zavodskoe-zemledelie.html> (дата обращения: 25.05.2022).
7. Аристов Ю.И., Окунев А.Г., Пармон В.Н. Способ получения воды из воздуха // Патент РФ на изобретение 2272877; заявл. 23.07.2004; опубл. 27.03.2006 Бюл. № 9.
8. Белозеров В.В., Ворошилов И.В., Денисов А.Н., Катин О.И., Никулин М.А. Синергетика и интеграция агротехнологий и технологий противопожарной защиты сельхозугодий, лесов и торфяников // Успехи современного естествознания. 2021. № 10. С. 13-19.
9. Белозеров В.В., Ворошилов И.В., Денисов А.Н., Зубков С.Г., Никулин М.А., Топольский Н.Г., Белозеров Вл. В. Способ обнаружения и тушения пожаров сельхозугодий, степных и лесных массивов атмосферным азотом // Патент на изобретение 2766070 С2; заявл. 07.08.2020; опубл. 07.02.2022 Бюл. № 4.

10. Белозеров В.В., Ворошилов И.В., Зимовнов О.В., Никулин М.А., Обухов П.С., Белозеров Вл. В. Способ обнаружения, предотвращения распространения огня и тушения лесных пожаров атмосферным азотом с помощью вертолета // Патент РФ на изобретение 2730906; заявл. 17.02.2020; опубл. 26.08.2020 Бюл. № 24.
11. Белозеров В.В., Ворошилов И.В., Кальченко И.Е., Мальцев Г.И., Плахотников Ю.Г., Прус Ю.В., Олейников С.Н. Способ предотвращения или обнаружения и тушения торфяных пожаров и установка для реализации способ // Патент на изобретение 2530397 С1; заявл.22.02.2013; опубл.10.10.2014 Бюл. № 28.
12. Белозеров В.В., Ворошилов И.В., Катин О.И., Никулин М.А., Белозеров Вл.В. Способ земледелия и защиты сельхозугодий и лесных массивов агропожарными комбайнами-дирижаблями // Заявка на изобретение № 2022134688 от 27.12.2022.
13. Белозеров В. В., Денисов А. Н., Катин О. И., Никулин М. А., Белозеров Вл. В. Способ реализации агротехнологий и противопожарной защиты сельхозугодий и лесных массивов с помощью дирижабля // Патент РФ на изобретение 2751365; заявл. 19.11.2020; опубл. 13.07.2021 Бюл. № 20.
14. Белозеров В.В., Долаков Т.Б. О синергетическом подходе к решению проблем водной и продовольственной безопасности // Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса: сборник трудов XII Международной научно-практической конференции «Интерагро-маш-2019». Ростов н/Д: ДГТУ, АНЦ «Донской». 2019. С. 572-577. <https://doi.org/10.23947/interagro.2019.7.572-577>
15. Белозеров В.В., Катин О.И., Никулин М.А. Обоснование применения противопожарного дирижабля в сельском и лесном хозяйстве //Перспективные разработки и прорывные технологии в АПК: сборник материалов. национальной научно-практической конференции (Тюмень, 21-23 октября 2020 г.). Тюмень: изд. ГАУСЗ, 2020. С. 4-10.
16. Белозеров В.В., Катин О.И., Никулин М.А. Об интеграции современных наукоемких агропожарных технологий // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 6-2. С. 239-247.
17. Белозеров В.В., Кравченко Е.С., Никулин М.А. О новом уровне автоматизации в рамках АСУ ТП в земледелии академика Шатилова И.С. // Студенческий научный форум 2023 [Электронный ресурс]. URL: <https://scienceforum.ru/2023/article/2018032214> (дата обращения: 16.11.2022).
18. Белозеров В.В., Никулин М.А. Ретропрогноз внедрения наукоемких инноваций противопожарной защиты для самоорганизации безопасной жизне-

- деятельности в Сибири // Современные наукоемкие технологии. 2022. № 8. С. 16-31. <https://doi.org/10.17513/snt.39262>
19. Бирюк В.В., Шелудько Л.П., Горшкалев А.А., Шиманов А.А., Белоусов А.В., Галлямов Р.Э. Устройство для получения воды из атмосферного воздуха и выработки электроэнергии // Патент РФ 2620830 от 09.03.2016, Опубликовано. 30.05.2017, Бюл. № 16.
  20. В России разработан аванпроект транспортного дирижабля грузоподъемностью до 200 тонн [Электронный ресурс]. URL: <https://sdelanounas.ru/blogs/18087/> (дата обращения: 27.05.2022).
  21. Ворошилов И.В., Мальцев Г.И., Кошаков А.Ю. Генератор азота // Патент РФ на изобретение 02450857, заявл. 24.08.2010; Опубликовано. 20.05.2012 Бюл. № 14.
  22. Вертолеты на службе у сельского хозяйства [Электронный ресурс]. URL: <https://helico-russia.ru/blog/vertolety-na-sluzhbe-u-selskogo-khozyaystva> (дата обращения: 27.05.2022).
  23. Голубятников В.Н., Пензин С.Б., Козлов О.А. Гибридный дирижабль линзообразной формы // Патент РФ на изобретение 2546027 от 10.08.2012, опублик. 10.04.2015 Бюл. № 10.
  24. Инструкция по определению экономической эффективности новой пожарной техники, пожарно-профилактических мероприятий, изобретений и рационализаторских предложений в области пожарной защиты. М.: ВНИИПО МВД СССР, 1980. 109с.
  25. Методология и методика энергетической оценки агротехнологий в агроландшафтах. М.: МСХА им. К. А. Тимирязева. 2007. 21 с.
  26. Многоцелевой дирижабль Аи-30 [Электронный ресурс]. URL: <http://gosaerosystems.ru/airships/obj676> (дата обращения: 28.05.2022).
  27. Можейко О. Комплексная система защиты зерновых культур // Глав Агроном. 2021. № 1379 [Электронный ресурс]. URL: <https://glavagronom.ru/articles/kompleksnaya-sistema-zashchity-zernovyh-kultur> (дата обращения: 28.05.2022).
  28. МЧС России – Авиация – Техника [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mchs.gov.ru/ministerstvo/uchrezhdeniya-mchs-rossii/spasatelnye-podrazdeleniya/aviaciya/tehnika> (дата обращения: 27.05.2022).
  29. Овсинский И.Е. Новая система земледелия / Перепечатка публикации 1899 г. (Киев, тип. С.В. Кульженко). Новосибирск: АГРО-СИБИРЬ, 2004. 86 с.
  30. Оценка стоимости производства зерновых культур на основе энергетического подхода / В.Е. Мочулаев // Молодой учёный. 2018. № 21 (207). С. 280-283.

31. Передвижные азотные компрессорные станции ТГА – оперативное обеспечение труднодоступных объектов сжатым азотом // Бурение и нефть. 2012. №5. С. 64-65.
32. Перспективы применения малой и беспилотной авиации в сельском хозяйстве [Электронный ресурс]. URL: <https://agrostory.com/info-centre/agronomists/perspektivy-primeneniya-maloy-aviatsii-v-selskom-khozyaystve> (дата обращения: 27.05.2022).
33. Пожары и пожарная безопасность в 2019 году: Статистический сборник. Под общей редакцией Д.М. Гордиенко. М.: ВНИИПО, 2020. 80 с.
34. Природное земледелие по Овсинскому / В.В. Барсуков // Экологически чистое земледелие [Электронный ресурс]. URL: [https://sadluna.com/zemledelie\\_ivan\\_ovsinskij\\_novaja\\_sistema.php](https://sadluna.com/zemledelie_ivan_ovsinskij_novaja_sistema.php) (дата обращения: 17.10.2022)
35. Россия тушит мир: на что способны отечественные пожарные самолёты [Электронный ресурс]. URL: <https://life.ru/p/945443> (дата обращения: 27.05.2022).
36. Самолет-амфибия Бе-200ЧС [Электронный ресурс]. URL: <http://www.beriev.com/rus/be-200/Be-200ES.html> (дата обращения: 27.05.2022).
37. Тужилин С.Ю. Практическая биодинамика в Сибири. Иркутск: ОАО «Иркутская типография № 1», 2002. 66 с.
38. Управление азотом: ошибка может дорого стоить // Наше сельское хозяйство. 2021. № 15 (263). С. 60-68.
39. Ученые предупреждают: инерционный путь развития АПК ведет в тупик // Инфопроекты «EduRUS» [Электронный ресурс]. URL: [http://www.edurus.ru/edunauka/selskoehozyaistvo/334820.htm#.YK\\_PXHqzbzIU](http://www.edurus.ru/edunauka/selskoehozyaistvo/334820.htm#.YK_PXHqzbzIU) (дата обращения: 28.05.2022).
40. Федеральные стандарты оценки / Приказ Минэкономразвития России от 14 апреля 2022 года № 200. URL: <https://docs.cntd.ru/document/350260562> (дата обращения: 28.05.2022).
41. Шевченко А.В., Мигачев А.Н. Обзор состояния мирового рынка беспилотных летательных аппаратов и их применения в сельском хозяйстве // Робототехника и техническая кибернетика. 2019. Т. 7. №3. С. 183-195. <https://doi.org/10.31776/RTCJ.7303>
42. Aaron M. Drews, Ludovico Cademartiri, Michael L. Chemama, Michael P. Brenner, George M. Whitesides, and Kyle J. M. Bishop AC electric fields drive steady flows in flames // Physical review E. 2012. Vol. 86, Iss. 3, 036314. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.86.036314>
43. Au-12: two-seater airship [Электронный ресурс]. URL: <http://rosaerosystems.ru/airships/obj10> (дата обращения: 28.05.2022).

44. Belozherov V.V., Nikulin M.A., Belozherov VI.V. Socio-economic assessment of the use of nature-like nanotechnologies for the reengineering of the technosphere // *Nanotechnologies in Construction*. 2022. 14(2). P. 119–136. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-119-136>
45. Jillian M Deines, Sherrie Wang and David B Lobell Satellites reveal a small positive yield effect from conservation tillage across the US Corn Belt // *Environ. Res. Lett.*, 2019, 14, 124038. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab503b>
46. Katin O., Belozherov V., Nikulin M., Voroshilov I. About methods and means of extinguishing fires with atmospheric nitrogen // *Science and innovation 2021 - development directions and priorities: collection of materials of the international conference*. Australia: Melbourne, 2021. P. 161-166.
47. Kurakov F. A. Technologies of extinguishing landscape fires as a possible scientific and technological priority of the Russian Federation // *Economics of science*. 2017. Vol. 3. No. 3. P. 214-226. <https://doi.org/10.22394/2410-132X-2017-3-3-214-226>
48. Belozherov V., Nikulin M., Topolsky N. Nanotechnology for the suppression of fires in agricultural land and forests / XIII International Scientific and Practical Conference «State and Prospects for the Development of Agribusiness – INTERAGROMASH 2020» // *E3S Web Conf.*, 2020, vol. 175, 12007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017512007>

### References

1. Abrosimov D.V., Belozherov V.V., Zimovnov O.V., Nikulin M.A., Filimonov M.N., Belozherov VI. V. *Sposob obnaruzheniya i tusheniya vertoletom landshaftnykh pozharov inertnymi atmosferynymi gazami* [Method for detecting and extinguishing landscape fires by helicopter with inert atmospheric gases]. Patent RF na izobretenie 2732748; zayavl. 18.02.2020; opubl. 22.09.2020 Byul. № 27.
2. Aviatsonnye sistemy: ekspress-informatsiya (po materialam zarubezhnoy pechati [Aviation systems: express information (based on materials from foreign press)]. *EI*, 2015, no. 49. [http://tlib.gosniias.ru/get\\_issue.php?id=33275](http://tlib.gosniias.ru/get_issue.php?id=33275)
3. Men'shchikov E., Strizhenov E., Chugaev S., Shkolin A. *Avtonomnye sistemy generatsii pit'evoy vody* [Autonomous drinking water generation systems]. <https://s3.dtlr.ru/unti-prod-people/file/presentation/project/87if11tp96.pdf>
4. *Agrofizicheskie, agrometeorologicheskie i agrotekhnicheskie osnovy programirovaniya uroznya: Printsipy ASU TP v zemledelii* [Agrophysical, agrometeorological and agrotechnical foundations of crop programming: Principles of ASMTTP in agriculture] / I.S. Shatilov, A.F. Chudnovskiy. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1980, 320 p.

5. Vavilov N.I. Akademik Dmitriy Nikolaevich Pryanishnikov (K 50-letiyu nauchnoy deyatel'nosti) [Academician Dmitry Nikolaevich Pryanishnikov (To the 50th anniversary of scientific activity)]. *Reports of the All-Union Academy of Agricultural Sciences*, 1938, no. 23-24, pp. 3-6.
6. Zhukov Yu.N. *AMAK-sistema i zavodskoe zemledelie* [ABAC-system and factory farming]. <http://agrodello.com.ua/tehnika/amak-sistema-i-zavodskoe-zemledelie.html>
7. Aristov Yu.I., Okunев A.G., Parmon V.N. *Sposob polucheniya vody iz vozdukha* [How to get water from air]. Patent RF na izobreteniye 2272877; zayavl. 23.07.2004; opubl. 27.03.2006 Byul. № 9.
8. Belozеров V.V., Voroshilov I.V., Denisov A.N., Katin O.I., Nikulin M.A. Sinergetika i integratsiya agrotekhnologiy i tekhnologiy protivopozharnoy zashchity sel'khozugodiy, lesov i torfyanikov [Synergetics and integration of agricultural technologies and technologies for fire protection of farmland, forests and peatlands]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2021, no. 10, pp. 13-19.
9. Belozеров V.V., Voroshilov I.V., Denisov A.N., Zubkov S.G., Nikulin M.A., Topol'skiy N.G., Belozеров V.I. *Sposob obnaruzheniya i tusheniya pozharov sel'khozugodiy, stepnykh i lesnykh massivov atmosferynym azotom* [A method for detecting and extinguishing fires in farmland, steppe and forest areas with atmospheric nitrogen]. Patent RF na izobreteniye 2766070; zayavl. 07.08.2020; opubl. 07.02.2022 Byul. № 4.
10. Belozеров V.V., Voroshilov I.V., Zimovnov O.V., Nikulin M.A., Obukhov P.S., Belozеров V.I. *Sposob obnaruzheniya, predotvrashcheniya rasprostraneniya ognya i tusheniya lesnykh pozharov atmosferynym azotom s pomoshch'yu vertoleta* [A method for detecting, preventing the spread of fire and extinguishing forest fires with atmospheric nitrogen using a helicopter]. Patent RF na izobreteniye 2730906. 2020. Byul. № 24.
11. Belozеров V.V., Voroshilov I.V., Kal'chenko I.E., Mal'tsev G.I., Plakhotnikov Yu.G., Prus Yu.V., Oleynikov S.N. *Sposob predotvrashcheniya ili obnaruzheniya i tusheniya torfyanykh pozharov i ustanovka dlya realizatsii sposob* [Method for preventing or detecting and extinguishing peat fires and installation for implementing the method]. Patent RF na izobreteniye 2530397; zayavl. 22.02.2013; opubl. 10.10.2014 Byul. № 28.
12. Belozеров V.V., Voroshilov I.V., Katin O.I., Nikulin M.A., Belozеров V.I. *Sposob zemledeliya i zashchity sel'hozugodiy i lesnykh massivov agropozharnymi kombajnami-dirizhablyami* [Method of farming and protecting farmland and forests by agro-fire combines-airships] / Zayavka na izobreteniye № 2022134688 ot 27.12.2022.

13. Belozеров V. V., Denisov A. N., Katin O. I., Nikulin M. A., Belozеров V. V. *Sposob realizatsii agrotekhnologii i protivopozharnoy zashchity sel'khozugodiy i lesnykh massivov s pomoshch'yu dirizhablya* [A method for the implementation of agricultural technologies and fire protection of farmland and forests using an airship]. Patent RF na izobretenie 2751365; zayavl. 19.11.2020; 13.07.2021 Byul. № 20.
14. Belozеров V.V., Dolakov T.B. O sinergeticheskom podkhode k resheniyu problem vodnoy i prodovol'stvennoy bezopasnosti [On a synergistic approach to solving the problems of water and food security]. *Sostoyanie i perspektivy razvitiya agropromyshlennogo kompleksa: sbornik trudov XII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Interagromash-2019»* [Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference “Interagromash-2019”]. Rostov-on-Don, 2019, pp. 572-577. <https://doi.org/10.23947/interagro.2019.7.572-577>
15. Belozеров V.V., Katin O.I., Nikulin M.A. Obosnovanie primeneniya protivopozharnogo dirizhablya v sel'skom i lesnom khozyaystve [Rationale for the use of a fire-fighting airship in agriculture and forestry]. *Perspektivnye razrabotki i proryvnye tekhnologii v APK: sbornik materialov. natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Promising developments and breakthrough technologies in the agro-industrial complex: a collection of materials. national scientific and practical conference]. Tyumen, 2020, pp. 4-10.
16. Belozеров V.V., Katin O.I., Nikulin M.A. Ob integratsii sovremennykh naukoemkikh agropozharnykh tekhnologiy [About the integration of modern science-intensive agro-fire technologies]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, 2021, no. 6-2, pp. 239-247. <https://doi.org/10.17513/snt.38728>
17. Belozеров V.V., Kravchenko E.S., Nikulin M.A. O novom urovne avtomatizatsii v ramkakh ASU TP v zemledelii akademika Shatilova I.S. [On a new level of automation within the framework of automated process control systems in agriculture by academician Shatilov I.S.] *Studencheskiy nauchnyy forum 2023* [Student Scientific Forum 2023]. <https://scienceforum.ru/2023/article/2018032214>
18. Belozеров V.V., Nikulin M.A. Retroprognoz vnedreniya naukoemkikh innovatsiy protivopozharnoy zashchity dlya samoorganizatsii bezopasnoy zhiznedeyatel'nosti v Sibiri [Retroforecast of the introduction of science-intensive innovations in fire protection for self-organization of safe life in Siberia]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, 2022, no. 8, pp. 16-31. <https://doi.org/10.17513/snt.39262>
19. Biryuk V.V., Shelud'ko L.P., Gorshkalev A.A., Shimanov A.A., Belousov A.V., Gallyamov R.E. *Ustroystvo dlya polucheniya vody iz atmosfernogo vozdukha i*

- vyrabotki elektroenergii* [Device for obtaining water from atmospheric air and generating electricity]. Patent RF na izobretenie 2620830; zayavl. 09.03.2016; opubl. 30.05.2017 Byul. № 16.
20. In Russia, a preliminary design of a transport airship with a carrying capacity of up to 200 tons has been developed. <https://sdelanounas.ru/blogs/18087/>
21. Voroshilov I.V., Mal'tsev G.I., Koshakov A.Yu. *Generator azota* [Nitrogen generator]. Patent RF na izobretenie 02450857; zayavl. 24.08.2010; opubl. 20.05.2012 Byul. № 14.
22. Helicopters in the service of agriculture. <https://helico-russia.ru/blog/vertolety-na-sluzhbe-u-selskogo-khozyaystva>
23. Golubyatnikov V.N., Penzin S.B., Kozlov O.A. *Gibridnyy dirizhabl' linzoo-braznoy formy* [Lens-shaped hybrid airship]. Patent RF na izobretenie 2546027; zayavl. 10.08.2012; opubl. 10.04.2015 Byul. № 10.
24. *Instruktsiya po opredeleniyu ekonomicheskoy effektivnosti novoy pozharной tekhniki, pozharно-profilakticheskikh meropriyatiy, izobreteniy i ratsionalizatsionnykh predlozheniy v oblasti pozharной zashchity* [Instructions for determining the economic efficiency of new fire equipment, fire prevention measures, inventions and rationalization proposals in the field of fire protection]. Moscow: VNIPO MVD SSSR, 1980, 109 p.
25. *Metodologiya i metodika energeticheskoy otsenki agrotekhnologii v agrolandshaftakh* [Methodology and methods of energy assessment of agricultural technologies in agricultural landscapes]. Moscow, 2007, 21p.
26. *Mnogotselevoe dirizhabl' Au-30* [Multi-purpose airship Au-30]. <http://ro-saerosystems.ru/airships/obj676>
27. Mozheyko O. *Glav Agronom*, 2021 no. 1379. <https://glavagronom.ru/articles/kompleksnaya-sistema-zashchity-zernovykh-kultur>
28. MChS Rossii – Aviatsiya – Tekhnika [EMERCOM - Aviation - Technique]. <https://www.mchs.gov.ru/ministerstvo/uchrezhdeniya-mchs-rossii/spasatelnye-podrazdeleniya/aviatsiya/tehnika>
29. Ovsinskiy I.E. *Novaya sistema zemledeliya* [New farming system]. Novosibirsk, 2004, 86p.
30. Mochulaev V.E. *Otsenka stoimosti proizvodstva zernovykh kul'tur na osnove energeticheskogo podkhoda* [Estimation of the cost of grain production based on the energy approach]. *Molodoy uchenyy*, 2018, no. 21 (207), pp.280-283.
31. *Peredvizhnye azotnye kompressornye stantsii TGA – operativnoe obespechenie trudnodostupnykh ob'ektov szhatym azotom* [Mobile nitrogen compressor stations TGA - prompt provision of hard-to-reach facilities with compressed nitrogen]. *Burenie i nef't'*, 2012, no. 5, pp.64-65.

32. Prospects for the use of small and unmanned aircraft in agriculture. <https://agrostory.com/info-centre/agronomists/perspektivy-primeneniya-maloy-aviatsii-v-selskom-khozyaystve>
33. *Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2019 godu: Statisticheskii sbornik* [Fires and fire safety in 2019: Statistical compendium / Under the general editorship of D.M. Gordienko]. Moscow: VNIPO, 2020, 80 p.
34. Natural farming according to Ovsinsky. [https://sadluna.com/zemledelie\\_ivan\\_ovsinskij\\_novaja\\_sistema.php](https://sadluna.com/zemledelie_ivan_ovsinskij_novaja_sistema.php)
35. Russia extinguishes the world. <https://life.ru/p/945443>
36. Be-200ChS amphibious aircraft. <http://www.beriev.com/rus/be-200/Be-200ES.html>
37. Tuzhilin S. Yu. *Prakticheskaya biodinamika v Sibiri* [Practical biodynamics in Siberia]. Irkutsk, 2002, 66 p.
38. Upravlenie azotom: oshibka mozhet dorogo stoit' [Nitrogen Management: A Mistake Can Be Costly]. *Nashe sel'skoe khozyaystvo*, 2021, no. 15 (263), pp. 60-68.
39. *Infoprojects "EduRUS"*. [http://www.edurus.ru/edunauka/selskoehozyaistvo/334820.htm#.YK\\_PXHqbzIU](http://www.edurus.ru/edunauka/selskoehozyaistvo/334820.htm#.YK_PXHqbzIU)
40. Federal valuation standards: Order of the Ministry of Economic Development of Russia, 14.04.2022 No. 200. <https://docs.cntd.ru/document/350260562>
41. Shevchenko A.V., Migachev A.N. Obzor sostoyaniya mirovogo rynka bespilotnykh letatel'nykh apparatov i ikh primeneniya v sel'skom khozyaystve [Overview of the state of the global market for unmanned aerial vehicles and their application in agriculture]. *Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika*, 2019, vol. 7, no. 3, pp. 183-195. <https://doi.org/10.31776/RTCJ.7303>
42. Aaron M. Drews, Ludovico Cademartiri, Michael L. Chemama, Michael P. Brenner, George M. Whitesides, and Kyle J. M. Bishop Ac electric fields drive steady flows in flames. *Physical Review E*, 2012, vol. 86, no. 3, 036314. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.86.036314>
43. Au-12: two-seater airship. <http://rosaerosystems.ru/airships/obj10>
44. Belozarov V.V., Nikulin M.A., Belozarov V.I. Socio-economic assessment of the use of nature-like nanotechnologies for the reengineering of the technosphere. *Nanotechnologies in Construction*, 2022, vol. 14(2), pp. 119-136. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-119-136>
45. Jillian M Deines, Sherrie Wang and David B Lobell Satellites reveal a small positive yield effect from conservation tillage across the US Corn Belt. *Environ. Res. Lett.*, 2019, vol. 14, 124038. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab503b>
46. Katin O., Belozarov V., Nikulin M., Voroshilov I. About methods and means of extinguishing fires with atmospheric nitrogen. Science and innovation 2021-de-

- velopment directions and priorities: collection of materials of international conference. Australia: Melbourne, 2021, pp. 161-166.
47. Kurakov F. A. Technologies of extinguishing landscape fires as a possible scientific and technological priority of the Russian Federation. *Economics of science*, 2017, vol. 3, no. 3, pp. 214-226; <https://doi.org/10.22394/2410-132X-2017-3-3-214-226>
48. Belozеров V., Nikulin M., Topolsky N. Nanotechnology for the suppression of fires in agricultural land and forests / XIII International Scientific and Practical Conference «State and Prospects for the Development of Agribusiness – INTERAGROMASH 2020». *E3S Web Conf.*, 2020, vol. 175, 12007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017512007>

#### **ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ**

**Белозеров Валерий Владимирович**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры АПП  
*ФГБОУ ВО Донской государственный технический университет  
пл. Гагарина, 1, г. Ростов-на-Дону, 344002, Ростовская область,  
Российская Федерация  
safeting@mail.ru*

**Ворошилов Игорь Валерьевич**, кандидат физико-математических наук, Почетный машиностроитель, генеральный директор  
*ООО «Краснодарский компрессорный завод»  
ул. Железнодорожная, 265А, ст-ца Динская, 353201, Краснодарский край, Российская Федерация  
gendir@kkzav.ru*

**Катин Олег Иванович**, аспирант  
*ФГБОУ ВО Донской государственный технический университет  
пл. Гагарина, 1, г. Ростов-на-Дону, 344002, Ростовская область,  
Российская Федерация  
okatin96@mail.ru*

**Никулин Михаил Александрович**, ст. преподаватель кафедры ТБ  
*ФГБОУ ВО Государственный аграрный университет Северного Зауралья  
ул. Республики, 7, г. Тюмень, 625003, Тюменская область, Российская Федерация  
rojar\_2003@mail.ru*

**DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Valeriy V. Belozerov**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor

*Don State Technical University*

*1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344002, Rostov region, Russian Federation*  
*safeting@mail.ru*

*SPIN-code: 3733-2281*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6999-7804>*

*Researcher ID: D-5678-2014*

*Scopus 57218102562*

**Igor V. Voroshilov**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Honorary Mechanical Engineer, General Director

*Krasnodar Compressor Plant LLC*

*265A, Zheleznodorozhnaya Str., station Dinskaya, 353201, Krasnodar Territory, Russian Federation*

*gendir@kkzav.ru*

*SPIN-code: 6534-8659*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6546-1700>*

*Researcher ID: ADE-0230-2022*

*Scopus 57226127116*

**Oleg I. Katin**, post-graduate student

*Don State Technical University*

*1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344002, Rostov region, Russian Federation*  
*okatin96@mail.ru*

*SPIN-code: 9625-7118*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3670-6921>*

*Researcher ID: X-2746-2019*

*Scopus Author ID: 57196459320*

**Mikhail A. Nikulin**, Lecturer

*State Agrarian University of the Northern Trans-Urals*

*7, Respubliki Str., Tyumen, 625003, Tyumen region, Russian Federation*  
*pojar\_2003@mail.ru*

*SPIN-code: 9383-0388*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7756-3456>*

*Scopus 57218102963*

Поступила 01.11.2022

После рецензирования 29.11.2022

Принята 01.12.2022

Received 01.11.2022

Revised 29.11.2022

Accepted 01.12.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-99-118

УДК 631.155.2



Научная статья | Продовольственные системы

## УПРАВЛЕНИЕ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК ОРГАНИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ В ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ СИСТЕМЕ РЕГИОНА

*О.Ю. Воронкова, Л.И. Петрова, А.Ю. Межова,  
И.Ю. Ануфриева, А.А. Слуккина*

**Обоснование.** В цепи поставок органической продукции взаимодействует ряд организаций – производители, склады, дистрибьюторы, перевозчики, оптовые и розничные покупатели, участвующие в формировании материальных, финансовых, информационных и сервисных потоков от источника сырья до конечного потребителя.

**Цель** заключается в разработке принципов управления цепями поставок органической продукции в продовольственной системе региона

**Материалы и методы.** Методологической и теоретической основой исследований выступили работы отечественных и зарубежных ученых по управлению поставками органической продукции в региональных продовольственных системах. В частности, для практического примера был выбран Алтайский край, как экологически чистый регион, с достаточными земельными, трудовыми и производственными ресурсами для развития органического сельскохозяйственного производства и переработки органической продукции. В процессе работы были применены аналитические, абстрактно-логические, монографические и иные методы исследования.

**Результаты.** Управление продвижением органической продукции в продовольственной системе региона целесообразно осуществлять с помощью инновационных цифровых технологий, в частности блокчейна, а также через систему аграрных информационно-консультационных центров, организацию презентаций органической продукции, проведение рекламных компаний, участие в выставках-ярмарках на региональном и российском уровнях, открытием ритейлерами «зеленых» полок в своих сетях. Развитие органического сельского хозяйства в Алтайском крае может оказать значимый положительный эффект на уровень экономического, социального и экологического

*развития сельских территорий региона путем активизации регионального рынка органической сельскохозяйственной продукции, вовлечения в производственный оборот неиспользуемых земельных ресурсов, применения инновационных технологий в АПК, повышения трудовой занятости сельских жителей, активизации экотуристической сферы, повышения экономической устойчивости организаций АПК региона.*

**Заключение.** Развитие комплексных решений по обозначенным проблемам при должном уровне координации всех участников цепи поставок органической продукции способствуют формированию развивающегося глобального рынка органического сырья и продовольствия, влияя на модели агропроизводства, распределение доходов и затрат, внедрение инноваций цифровых технологий, экологизацию сферы АПК, развитие экономики аграрных регионов.

**Ключевые слова:** цепи поставок; органическое сельское хозяйство; органическая продукция; блокчейн; регион

**Для цитирования.** Воронкова О.Ю., Петрова Л.И., Межова А.Ю., Ануфриева И.Ю., Слукина А.А. Управление цепями поставок органической продукции в продовольственной системе региона // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №3. С. 99-118. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-99-118

Original article | Food Systems

## ORGANIC SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PRODUCTS IN FOOD CLUSTERS: REGIONAL ASPECT

*O. Yu. Voronkova, L.I. Petrova, A. Yu. Mezhova,  
I. Yu. Anufrieva, A.A. Slukina*

**Background.** A number of organizations interact in the supply chain of organic products – manufacturers, warehouses, distributors, carriers, wholesale and retail buyers involved in the formation of material, financial, information and service flows from the source of raw materials to the final consumer.

**Purpose.** It consists in the development of principles of supply chain management of organic products in the food system of the region

**Materials and methods.** The methodological and theoretical basis of the research was the work of domestic and foreign scientists on the management of the supply of organic products in regional food systems. In particular, for a practical ex-

ample, the Altai Territory was chosen as an ecologically clean region with sufficient land, labor and production resources for the development of organic agricultural production and processing of organic products. In the course of the work, analytical, abstract-logical, monographic and other research methods were applied.

**Results.** It is advisable to manage the promotion of organic products in the food system of the region with the help of innovative digital technologies, in particular blockchain, as well as through the system of agricultural information and consulting centers, organization of presentations of organic products, advertising campaigns, participation in exhibitions and fairs at the regional and Russian levels, the opening of “green” shelves by retailers in their networks. The development of organic agriculture in the Altai Territory can have a significant positive effect on the level of economic, social and environmental development of rural areas of the region by activating the regional market of organic agricultural products, involving unused land resources in the production turnover, using innovative technologies in the agro-industrial complex, increasing the employment of rural residents, activating the ecotourism sphere, increasing the economic sustainability of agro-industrial organizations region.

**Conclusion.** The development of integrated solutions to these problems with the proper level of coordination of all participants in the supply chain of organic products contribute to the formation of a developing global market for organic raw materials and food, affecting agricultural production models, distribution of income and costs, the introduction of digital technology innovations, the greening of the agro-industrial sector, the development of the economy of agricultural regions.

**Keywords:** supply chains; organic agriculture; organic products; blockchain; region

**For citation.** Voronkova O.Yu., Petrova L.I., Mezхова A.Yu., Anufrieva I.Yu., Slukina A.A. Organic Supply Chain Management Products in Food Clusters: Regional Aspect. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 99-118. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-99-118

## Введение

Управление цепочками поставок – это концепция управления, представляющая собой комплексный подход к планированию и контролю всех информационных потоков, связанных с производством и переработкой продукции, сырья, материалов и услуг [4, 5, 7, 14, 22]. Вся эта информация генерируется и преобразуется в рамках производственных и логистических процессов, с целью получения максимальной прибыли для всех участников цепочки поставок при удовлетворении спроса конечного поль-

зователя. В настоящее время процесс управления продвижением органической продукции, в том числе, опирается на инновационные цифровые технологии, в частности, на блокчейн. Согласно исследованиям зарубежных авторов [25, 27, 32] блокчейн действительно обеспечивает более быструю отслеживаемость продуктов питания. Так, ряд ученых отмечают, что в настоящее время блокчейн успешно внедряется в небольших масштабах для обеспечения прослеживаемости всей цепочки органических продуктов питания и продуктов питания, продаваемых по принципу справедливой торговли [2, 3, 24, 27, 34].

Управление цепями поставок (Supply Chain Management – SCM) представляет собой процесс планирования, исполнения и контроля с точки зрения снижения затрат потока сырья, материалов, незавершенного производства, готовой продукции, сервиса и связанной информации от точки зарождения заявки до точки потребления (включая импорт, экспорт, внутренние и внешние перемещения), т.е. до полного удовлетворения требований клиентов. SCM является интегративной философией для управления общим потоком канала распределения от поставщика до конечного пользователя. К данным организациям относятся, прежде всего, те, которые имеют разветвленную сеть филиалов и широкую географию присутствия, и значительное количество партнеров, среди которых передаются не только информационные, но и материальные потоки. Прежде всего, это продовольственные и промышленные компании, распределительные сети, транспортно-логистические компании [4, 12, 16, 28]. Все вышеперечисленные организации теоретически могут быть объединены в одну систему или общую цепочку поставок органической продукции для целей более эффективного управления в региональных продовольственных системах. Данная концепция была разработана и применялась при построении моделей и систем управления цепочками поставок. Цепочка поставок представляет собой набор взаимосвязанных материальных процессов и их соответствующие информационные потоки между участниками цепочки [7, 8, 16, 19, 23].

### **Материалы и методы**

Ряд ученых большое внимание уделяют вопросам управления цепями поставок органической продукции в продовольственных системах. Так, в 1982 году К.Оливер и М. Вебер (R. Keith Oliver, Michael D. Webber) опубликовали статью «Supply Chain Management: Logistics catches up with strategy» где предложили рассматривать материальные потоки от произво-

дителей исходного сырья до конечного потребителя в рамках интегрированной стратегии, назвав ее управлением цепочками поставок. Широкое признание термин «цепь поставок» приобрел главным образом в результате глобализации производства с середины 90-х годов, в частности в результате роста производства в Китае. Сосредоточение внимания на глобализации акцентировало внимание на необходимости стратегии логистики для работы со сложными сетями, включая многочисленные организации, охватывающие несколько стран с разным контролем.

В последние десятилетия интенсивно развивается концепция управления цепями поставок, объектами которой с одной стороны выступают предприятия, создающие ценность для конечных потребителей продукции и услуг, а с другой стороны, – процессы, обеспечивающие создание данной ценности. Исследованию данных вопросов применительно к российской экономике посвятили свои труды такие ученые как Сергеев В.И. [14], Мешков Н.А. [9], Соловьева О.В. [17], Григорьев Ю.П. [5], Кокорина И.С. [7], Иванов Д.А. [6], Тяпухин А.П. [20]. Методологической и теоретической основой исследований выступили работы отечественных и зарубежных ученых по управлению цепочками поставок. В процессе работы были применены аналитические, абстрактно-логические, монографические и иные методы исследования

### **Результаты исследования**

Постоянные трансформации на глобальных рынках органического сырья и продовольствия, инновационные тенденции в разных секторах агропромышленного комплекса представляют сложную многоуровневую задачу для потребителей, производителей, переработчиков и ритейлеров, составленную из множества элементов. В частности, ряд ученых считают, что цифровая трансформация АПК приведет к изменению отраслевой структуры АПК из-за исчезновения традиционных отраслей и возникновения новых, изменению участия АПК в национальной и мировой экономике, внедрению новых организационных моделей функционирования предприятий АПК (платформ и экосистем), исчезновению остатков традиционного сельского уклада и изменению городского уклада [1, 10, 11, 18, 24, 28].

Зарубежные ученые К. Морган и Дж. Мердок предлагают изучать распределение экономических знаний в рамках двух пищевых цепочек. Первая – это традиционная пищевая цепь, опирающаяся на интенсивные ресурсы в процессе производства продуктов питания и, таким образом, имеющая тенденцию распространять знания среди поставщиков ресурсов.

И вторая – цепочка поставок органических продуктов питания, которая распространяет знания обратно на ферму, поскольку фермеры должны переориентировать свое понимание производственного процесса. Учеными предложено два стилизованных описания каждой цепи для того, чтобы фермеры забыли многие методы, столь характерные для традиционной цепи, чтобы (пере)учиться тому, как вести хозяйство экологически безопасным способом [31].

Производство органического сырья и продовольствия – это стабильно развивающийся сегмент мирового сельского хозяйства (+12,2% в год, 94 млрд EUR в 2017 г.) [21]. Органическое сырье и продовольствие обладает высоким потенциалом для международной торговли. Учет данного фактора активизировал развитие экспортно ориентированного органического сельскохозяйственного производства в Австралии, Аргентине и Китае [21, 34].

За последние 20 лет объем мирового рынка органической продукции вырос более чем в пять раз и в 2018 году, по данным исследовательской компании Ecovia Intelligence, достиг 97 млрд евро. Крупнейшим потребителем являются США, на которые приходится 42% глобальных продаж, за ними следуют Евросоюз (39%) и Китай (8,3%) [27, 36].

Россия пока занимает 0,2% мирового рынка органической продукции. Однако за последние 15 лет производимый объем в стоимостном выражении вырос в 10 раз: с 16 млн евро в начале 2000-х годов до 160 млн евро в 2019 году. По оценкам экспертов, Россия к 2030 году может занять 3-5% мирового рынка органической продукции, что позволит стать одним из лидеров отрасли. Несмотря на это, спрос на органическое сырье и продовольствие превышает предложение. Вследствие этого поддерживается и высокая рентабельность производства (в развитых странах 20-50%, в России до 200%) [21]. Несмотря на экономические выгоды, переход на новые, органически ориентированные способы сельскохозяйственного производства достаточно рискованно и требует от производителя формирования новых компетенций во всех элементах цепочки создания стоимости – от технологий земледелия до рыночных инноваций.

В России спрос на органическое сырье и продовольствие на мезоуровнях также быстро растет (+22% в год, около 150 млн EUR) [21, 34]. Так, внутренний рынок Российской Федерации имеет значительный потенциал роста – Россия обладает низкой стоимостью трудовых ресурсов, доступностью органических удобрений, залежными землями, пригодными для органического земледелия.

Производство органической продукции – один из наиболее динамично развивающихся сегментов в мировом сельском хозяйстве. По оценке SBS Consulting, темп роста потребления органики вдвое превышает рост рынка продовольствия в целом. В ближайшие годы рынок органических продуктов продолжит ежегодный рост в среднем на 15%, прогнозирует Международная федерация органического сельского хозяйства (IFOAM)

Экономически эффективное производство и сбыт органического сырья и продовольствия предполагает координацию между всеми элементами цепи поставок [5, 13]. Уровень и виды координации и интеграции между различными элементами могут меняться в зависимости от места формирования дополнительной пищевой ценности органического сырья и продовольствия [23, 26].

Каналы сбыта органической продукции могут быть различны, в том числе прямые розничные продажи, среднеоптовые и мелкооптовые продажи, а также крупный опт. По нашему мнению, на начальном этапе производства, при еще незначительных производственных объемах органической продукции, оптимальной представляется схема прямого маркетинга, или прямых розничных продаж через находящиеся рядом магазины, передвижные торговые точки, на агрорынках близлежащих населенных пунктах, а также на выездных специализированных ярмарках и выставках [10].

Прямая продажа органических продуктов питания имеет достаточно преимуществ. Поэтому реализация продукции возможна даже при небольших производственных объемах, прямой контакт между производителем и потребителем подразумевает установление стабильных партнерских отношений; торговая марка местных производителей, как например, «Органические продукты Алтая», является хорошей рекламой и вызывает интерес потребителей, а гибкая ценовая политика, учитывающая рыночные условия, позволит создать стабильный спрос на органические продукты. При более крупных объемах производства и переработки органической продукции целесообразным представляется использование инновационных цифровых технологий для формирования эффективных цепей поставок, на даже в схемах прямых продаж применение технологии блокчейн будет эффективно, т.к. участники смогут вносить и отслеживать данные о цене, месте производства и текущем местоположении продукции, ее качестве, сертификации и другие необходимые сведения. При этом можно оптимизировать систему логистики органической продукции, минимизировать риск поставок некачественной и поддельной продукции, повысить прозрачность сделок.

С увеличением производственных объемов производства и переработки органической продукции каналы сбыта постепенно расширяются до уровня мелкого и среднего опта, а затем до уровня крупнооптовых продаж, в том числе предполагается система государственных закупок органического продовольствия, на данном этапе возможно формирование цепей поставок с применением инновационных цифровых технологий, в т.ч. блокчейн.

В процессе исследования были обоснованы принципы управления цепями поставок органической продукции в продовольственной системе региона:

- Когда стоимость производится в первичном производственном процессе, требуется координация между поставщиками входных цепочек, фермерами и первичными переработчиками органического сырья и продовольствия.
- Когда стоимость добавляется в сегменте переработки, требуется координация между поставщиками органического сырья и переработчиками. При создании дополнительной сети в сфере дистрибуции, розничной торговли требуется высокая степень координации действий между фермерами, переработчиками и розничными торговцами органической продукции.
- Наконец, когда ценность определяется в секторе поставок органического сырья и продовольствия и идентичность продукции должна поддерживаться на различных уровнях цепочки поставок, необходима координация между многими различными участниками цепочки поставок, включая поставщиков сырья (например, семена или племенное поголовье животных), фермеров, владельцев перерабатывающих предприятий и логистических центров, розничных продавцов. На данном этапе целесообразно применение инновационных цифровых технологий [12].

Широкое применение технологий блокчейн в АПК может быть достигнуто путем включения и адресного финансирования данного направления в государственные программы цифровизации экономики. Применение технологии блокчейн в цепи поставок органической продукции позволит снизить риски; сократить транзакционные издержки, исключив лишних посредников; упростить процедуру сертификации органической продукции; предотвратить фальсификации органической продукции; повысить эффективность и скорость цепочек поставок; и обеспечить информированность потребителя о качестве и месте происхождения органической продукции.

### Обсуждение

Таким образом, как показывает практика последних лет, вопросы развития органического сельского хозяйства достаточно актуальны и значимы, особенно в аграрных регионах, а формирование цепей поставок органической продукции с применением современных цифровых технологий, в частности блокчейн позволит сократить срок поставки органической продукции «с поля на стол». Параллельно с развитием органического сельского хозяйства решаются социально-экономические задачи региона. «Постепенная переориентация на ведение органического сельского хозяйства и производство экопродуктов как премиум сегмента, в создание которого вовлечены... сельское население... позволят достичь устойчивости и эффективности функционирования АПК региона и обеспечить достойное качество и уровень жизни сельского населения» (Стратегия социально-экономического развития Алтайского края до 2035 года).

Постоянные трансформации на глобальных рынках органического сырья и продовольствия, инновационные тенденции в разных секторах агропромышленного комплекса представляют сложную многоуровневую задачу для потребителей, производителей, переработчиков и ритейлеров, составленную из множества элементов. Успех на рынке органического продовольствия – это удовлетворение текущих и будущих предпочтений потребителей, четкое понимание векторов развития пищевой промышленности и, как следствие, удовлетворение возникшего спроса.

Фермеры, предприятия переработки и производители органического сырья и продовольствия, понимая уникальность и особенности органической продукции стараются передать информацию об этих особенностях своим потребителям. Производители конечной органической продукции должны быть уверены во всех участниках продовольственной цепочки – сельскохозяйственных производителях органического продовольствия, поставщиках услуг, необходимых для производства органических продуктов.

Эта конфигурация участников цепочки поставок органического сырья и продовольствия усложняет разделение информационных потоков и координацию действий, контроля органической продукции и проверки ее качества. Данные условия усложняют передачу информации о свойствах и характеристиках товара, которые не могут быть оперативно предварительно проверены до момента покупки и потребления органического сырья и продовольствия. Сложная конфигурация членов цепочки поставок органического сырья и продовольствия усложняет информационную составляющую, а также координацию действий, контроль качества продук-

ции, поддержку инициативы участников цепочки поставок, обеспечение справедливого и эффективного распределения затрат и прибыли. Решить данные проблемы возможно на основе применения инновационных цифровых технологий, которые постепенно проникают во все сферы агропромышленного производства, переработки и реализации продукции.

### **Заключение**

Развитие комплексных решений по обозначенным проблемам способствуют формированию развивающегося глобального рынка органического сырья и продовольствия, влияя на модели агропроизводства, распределение доходов и затрат, внедрение инноваций, цифровизацию, экологизацию сферы АПК, развитие экономики.

Все вышеперечисленное возможно при должном уровне координации участников и эффективном организационно-экономическом механизме государственной поддержки и содействия развитию сельского хозяйства, направленного на производство органического сырья и продуктов питания, что является важной частью структуры внутреннего рынка продовольствия. Дальнейшая цифровизация сельскохозяйственного производства и переработки органической продукции с применением технологии блокчейн повысит продовольственную безопасность и экономическую эффективность отрасли, обеспечит прозрачность бизнес-процессов, а также снизит риск неопределенности при достижении целей устойчивого развития АПК региона [32].

**Информация о конфликте интересов.** Конфликт интересов отсутствует.

**Информация о спонсорстве.** Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-28-20177) «Концепция развития органического сельского хозяйства как элемента устойчивого социально-экономического развития сельских территорий, в т.ч. в условиях постпандемии»

### **Список литературы**

1. Баклаженко Г.А. Координация выполнения целевых программ комплексного развития сельских территорий // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2012. № 2(11). С. 55-59.
2. Бордунов И.В. Цифровизация в управлении цепями предложений // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2020. Том 10. № 6А. С. 177-184. <https://doi.org/10.34670/AR.2020.90.27.021>

3. Васильченко А.Д. Управление рисками цепочек поставок в условиях пандемии коронавируса / А. Д. Васильченко, Е. В. Сапир // Проблемы управления внешнеэкономической деятельностью в цифровой экономике: Сборник научных статей Всероссийской научной конференции студентов и аспирантов, Москва, 01 декабря 2021 года / Под общей редакцией В.И. Королева, Е.А. Синельниковой, М.В. Зинцовой, С.М. Балакиревой, Н.В. Виттенбек. Выпуск 81. Москва: Всероссийская академия внешней торговли Министерства экономического развития Российской Федерации, 2022. С. 277-288.
4. Воронкова О.Ю. Управление цепочкой поставок органической продукции на мезоуровне // Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса: Сборник трудов международной научно-практической онлайн конференции, Новосибирск, 13 октября 2020 года. Новосибирск: Новосибирский государственный аграрный университет, 2020. С. 207-211.
5. Григорьев Ю.П. Модель обслуживания цепей поставок материальных ресурсов // Ученые записки Санкт-Петербургского имени В.Б. Бобкова филиала Российской таможенной академии. 2015. № 2 (54). С. 68–75.
6. Иванов Д.А. Управление цепями поставок. СПб.: Издательство Политехнического университета, 2009. 660 с.
7. Кокорина И.С. Управление цепями поставок: экономические и социальные аспекты / И.С. Кокорина, В.А. Тетерина // Наука сегодня: факты, тенденции, прогнозы. Материалы международной научно-практической конференции: в 2 частях. Научный центр «Диспут». 2016. С. 32–34.
8. Макеева А.Д. Экологичное и устойчивое управление цепочками поставок // Опыт и проблемы реформирования системы менеджмента на современном предприятии: тактика и стратегия: Сборник статей XIX Международной научно-практической конференции, Пенза, 21–22 февраля 2020 года. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2020. С. 167-170.
9. Мешков Н.А. Исследование систем управления: Управление инновациями и инвестициями: Учебное пособие / Н.А. Мешков, Ю.А. Крупнов / Под ред. В.М. Четверикова. М.: МИЭМ, 2011. 106 с.
10. 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>
11. Нуралиев С.У. Особенности развития продовольственного рынка России в условиях ВТО // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2017. № 6. С. 49-51.

12. Петрова Л.И. Формирование и управление цепочкой поставок органической продукции сырья на мезоуровне / Л. И. Петрова, О. Ю. Воронкова // Развитие регионального АПК и сельских территорий: современные проблемы и перспективы: материалы XVI Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию СибНИИЭСХ СФНЦА РАН, Новосибирск, 15–16 октября 2020 года. Новосибирск: Издательский центр НГАУ «Золотой колос», 2020. С. 152-154.
13. Продовольственная безопасность - основа обеспечения экономической безопасности России / А. Б. Мельников, Е. И. Артемова, И. А. Бурса, Б. А. Мельников // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. 2012. № 3. С. 189-194.
14. Сергеев В.И. Управление цепями поставок: Учебник. М.: Юрайт, 2014. 479 с.
15. Сердюк Ю.С. Практические аспекты применения технологий четвертой промышленной революции в развитии цепей поставок ритейл-индустрии в России в 2021 году // Корпоративный менеджмент и бизнес-образование: Сборник научных статей / Под редакцией С.О. Календжяна и Е.С. Яхонтовой. Выпуск 4. Москва: ООО «МАКС Пресс», 2021. С. 225-236.
16. Сеницына А. С. Сетевые связи в эпоху глобального кризиса цепочек поставок / А. С. Сеницына, А. Г. Некрасов // Логистика – евразийский мост: Материалы XVII Международной научно-практической конференции, Красноярск, 27–30 апреля 2022 года. Часть 1. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2022. С. 279-283.
17. Соловьева О.В. Влияние инновационных изменений в системе управления персоналом на модернизацию системы управления организацией // Сборники конференций НИЦ Социосфера. 2014. № 61. С. 238–247.
18. Стельмашонок Е.В. Цифровая трансформация агропромышленного комплекса: анализ перспектив / Е. В. Стельмашонок, В. Л. Стельмашонок // 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>
19. Тод Н.А. Кластерная организация логистики в региональных цепях поставок агропродукции: Автореф. дис. ... канд. экон. наук. Красноярск, 2022. 18 с.
20. Тяпухин А.П. Логистика. Управление цепями поставок: Учебник. М.: КНОРУС, 2018. 454 с.
21. Федеральный центр развития экспорта продукции АПК Минсельхоза России. <https://aemcsx.ru/>
22. Царегородцева С. Р. Современные тенденции в управлении цепочками поставок // Актуальные проблемы и тенденции развития современной экономики: Сборник трудов международной научно-практической конференции,

- Самара, 16–17 декабря 2021 года / Отв. редактор О.А. Горбунова. Самара: Самарский государственный технический университет, 2021. С. 253-258.
23. Черникова С.А. Современные условия развития логистических процессов и управления цепочками случаев возникновения отраслевой структуры // Московский экономический журнал. 2020. № 7. С. 518-524.
  24. Akhmetova S.O., Suleimenova M.S. Quality management system for improvement of quality and efficiency of food production: case of dairy products enterprise // *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 2018, vol. 6(1), pp. 289-310. [http://doi.org/10.9770/jesi.2018.6.1\(18\)](http://doi.org/10.9770/jesi.2018.6.1(18))
  25. Chambers W.C., King R.P. Changing agricultural markets: Industrialization and vertical coordination in the dry edible bean industry // *Review of agricultural economics*. 2012. Vol. 24. № 2, pp. 495-511.
  26. Dudukalov E., Zolochevskaya E., Sorokina M., Mangusheva L. Structuring the economic space of small forms of doing business in the agro-industrial complex // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14(2), pp. 176-215. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-2-176-215>
  27. Faridi M.F., Sulphey M.M. Food security as a prelude to sustainability: a case study in the agricultural sector, its impacts on the Al Kharj community in The Kingdom of Saudi Arabia // *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 2019, vol. 6(3), pp. 1336-1345. [https://doi.org/10.9770/jssi.2019.6.3\(34\)](https://doi.org/10.9770/jssi.2019.6.3(34))
  28. Glotko A., Sycheva I., Petrova L., Vorozheykina T., Tolmachev A., Islamutdinov D. Environmental problems of processing industry in the agro-industrial complex of the region // *Journal of Environmental Management and Tourism*, 2019, vol. 10(5), pp. 974-983. [https://doi.org/10.14505/jemt.v10.5\(37\).04](https://doi.org/10.14505/jemt.v10.5(37).04)
  29. Golovina S., Poltarykhin A., Zhuravlev P., Mikolaychik I. Rural incomes are a condition for the formation of human capital in rural areas // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14(1), pp. 83-102. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-1-83-102>
  30. M. Maiti, I. Kotliarov, V. Lipatnikov A future triple entry accounting framework using blockchain technology // *Blockchain: Research and Applications*, 2021, vol. 2, no. 4. <https://doi.org/10.1016/j.bcra.2021.100037>
  31. Morgan K., Murdoch J. Organic vs. conventional agriculture: knowledge, power and innovation in the food chain // *Geoforum*, 2000, vol. 31, no. 2, pp. 159-173.
  32. 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, no. 1/2, pp. 139-153. <https://doi.org/10.1108/IJSSP-03-2020-0074>
  33. Sanders J., Gambelli D., Lernoud J., Orsini S., Padel S., Stolze M., Willer H., Zanolli R. Distribution of the added value of the organic food chain. Braun-

- schweig: Thünen Institute of Farm Economics. 2016. <https://orgprints.org/id/eprint/31990/9/sanders-et-al-2016-Distribution-of-the-added%20value-EUCommission-ExecutiveSummary.pdf>
34. The World of Organic Agriculture 2021. IFOAM - Organics International. <https://www.ifoam.bio/world-organic-agriculture-2021>
  35. Van Hilten M., Ongena G., Ravesteijn P. Blockchain for Organic Food Traceability: Case Studies on Drivers and Challenges // *Front. Blockchain*, 2020, vol. 3, 567175. <https://doi.org/10.3389/fbloc.2020.567175>
  36. Voronkova O.Y., Perepechkina E.G., Shichiyakh R.A., Kuts V.I., Sungurov P.A., Glazkova G.V. Ecological and economic potential and prospects for organic production in the Regions of Russia // *International Journal of Economics and Business Administration*, 2019, vol. 7, pp. 583–594.

### References

1. Baklazhenko G.A. *Ekonomika, trud, upravlenie v sel'skom khozyaystve*, 2012, no. 2(11), pp. 55-59.
2. Bordunov I.V. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra*, 2020, vol. 10, no. 6A, pp. 177-184. <https://doi.org/10.34670/AR.2020.90.27.021>
3. Vasil'chenko A.D., Sapir E.V. *Problemy upravleniya vneshneekonomicheskoy deyatel'nost'yu v tsifrovoy ekonomike: Sbornik nauchnykh statey Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii studentov i aspirantov, Moskva, 01 dekabrya 2021 goda* [Problems of managing foreign economic activity in the digital economy: Collection of scientific articles of the All-Russian Scientific Conference of Students and Postgraduates, Moscow, December 01, 2021]. Issue 81. Moscow: All-Russian Academy of Foreign Trade of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation, 2022, pp. 277-288.
4. Voronkova O.Yu. *Prioritetnye napravleniya nauchno-tehnologicheskogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa: Sbornik trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy onlayn konferentsii, Novosibirsk, 13 oktyabrya 2020 goda* [Priority directions of scientific and technological development of the agro-industrial complex: Proceedings of the international scientific and practical online conference, Novosibirsk, October 13, 2020]. Novosibirsk: Novosibirsk State Agrarian University, 2020, pp. 207-211.
5. Grigor'ev Yu.P. *Uchenye zapiski Sankt-Peterburgskogo imeni V.B. Bobkovafiliala Rossiyskoy tamozhennoy akademii*, 2015, no. 2 (54), pp. 68–75.
6. Ivanov D.A. *Upravlenie tsepyami postavok* [Supply chain management]. St. Petersburg: Publishing House of the Polytechnic University, 2009, 660 p.
7. Kokorina I.S., Teterina V.A. *Nauka segodnya: fakty, tendentsii, prognozy. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: v 2 chastyakh* [Sci-

- ence today: facts, trends, forecasts. Proceedings of the international scientific and practical conference: in 2 parts]. Scientific center “Dispute”. 2016, pp. 32–34.
8. Makeeva A.D. *Opyt i problemy reformirovaniya sistemy menedzhmenta na sovremennom predpriyatii: taktika i strategiya: Sbornik statey XIX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Penza, 21–22 fevralya 2020 goda* [Experience and problems of reforming the management system at a modern enterprise: tactics and strategy: Collection of articles of the XIX International Scientific and Practical Conference, Penza, February 21–22, 2020]. Penza: Penza State Agrarian University, 2020, pp. 167-170.
  9. Meshkov N.A., Krupnov Yu.A. *Issledovanie sistem upravleniya: Upravlenie innovatsiyami i investitsiyami: Uchebnoe posobie* [Study of management systems: Management of innovations and investments] / ed. V.M. Chetverikov. M.: MIEM, 2011, 106 p.
  10. Mityashin G.Yu. *Vestnik NGIEI*, 2022, no. 9(136), pp. 120-135. <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-9-120-135>
  11. Nuraliev S.U. *Ekonomika sel'skokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy*, 2017, no. 6, pp. 49-51.
  12. Petrova L.I., Voronkova O.Yu. *Razvitie regional'nogo APK i sel'skikh territoriy: sovremennye problemy i perspektivy: materialy XVI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchenoy 65-letiyu SibNIIESKh SFNTsA RAN, Novosibirsk, 15–16 oktyabrya 2020 goda* [Development of the regional agro-industrial complex and rural areas: modern problems and prospects: materials of the XVI International scientific and practical conference dedicated to the 65th anniversary of the SibNIIESH SFNC Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, October 15–16, 2020]. Novosibirsk: Zolotoy Kolos Publishing Center, 2020, pp. 152-154.
  13. Mel'nikov A. B., Artemova E. I., Bursa I. A., Mel'nikov B. A. *Gumanitarnye, sotsial'no-ekonomicheskie i obshchestvennye nauki*, 2012, no. 3, pp. 189-194.
  14. Sergeev V.I. *Upravlenie tsepyami postavok* [Supply Chain Management]. M.: Yurayt, 2014, 479 p.
  15. Serdyuk Yu.S. *Korporativnyy menedzhment i biznes-obrazovanie: Sbornik nauchnykh statey* [Corporate management and business education: Collection of scientific articles] / Edited by S.O. Kalendzhyan and E.S. Yakhontova. Issue 4. Moscow: LLC “MAKS Press”, 2021, pp. 225-236.
  16. Sinitayna A. S., Nekrasov A. G. *Logistika - evraziyskiy most: Materialy XVII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Krasnoyarsk, 27–30 aprelya 2022 goda. Chast' I* [Logistics - the Eurasian bridge: Proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference, Krasnoyarsk, April

- 27–30, 2022. Part 1]. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University, 2022, pp. 279-283.
17. Solov'eva O.V. *Sborniki konferentsiy NITs Sotsiosfera*, 2014, no. 61, pp. 238–247.
  18. Stel'mashonok E.V., Stel'mashonok V.L. *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>
  19. Tod N.A. *Klasternaya organizatsiya logistiki v regional'nykh tsepyakh postavok agroproduksii* [Cluster organization of logistics in regional supply chains of agricultural products]. Krasnoyarsk, 2022, 18 p.
  20. Tyapukhin A.P. *Logistika. Upravlenie tsepyami postavok* [Logistics. Supply Chain Management]. M.: KNORUS, 2018, 454 p.
  21. Federal Center for the Development of Exports of Agricultural Products of the Ministry of Agriculture of Russia. <https://aemcx.ru/>
  22. Tsaregorodtseva S.R. Aktual'nye problemy i tendentsii razvitiya sovremennoy ekonomiki: Sbornik trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Samara, 16–17 dekabrya 2021 goda [Actual problems and trends in the development of the modern economy: Proceedings of the international scientific and practical conference, Samara, December 16–17, 2021] / ed. O.A. Gorbunova. Samara: Samara State Technical University, 2021, pp. 253-258.
  23. Chernikova S.A. *Moskovskiy ekonomicheskyy zhurnal*, 2020, no. 7, pp. 518-524.
  24. Akhmetova S.O., Suleimenova M.S. Quality management system for improvement of quality and efficiency of food production: case of dairy products enterprise. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 2018, vol. 6(1), pp. 289-310. [http://doi.org/10.9770/jesi.2018.6.1\(18\)](http://doi.org/10.9770/jesi.2018.6.1(18))
  25. Chambers W.C., King R.P. Changing agricultural markets: Industrialization and vertical coordination in the dry edible bean industry. *Review of agricultural economics*, 2012, vol. 24, no. 2, pp. 495-511.
  26. Dudukalov E., Zolochevskaya E., Sorokina M., Mangusheva L. Structuring the economic space of small forms of doing business in the agro-industrial complex. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14(2), pp. 176-215. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-2-176-215>
  27. Faridi M.F., Sulphay M.M. Food security as a prelude to sustainability: a case study in the agricultural sector, its impacts on the Al Kharj community in The Kingdom of Saudi Arabia. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 2019, vol. 6(3), pp. 1336-1345. [https://doi.org/10.9770/jssi.2019.6.3\(34\)](https://doi.org/10.9770/jssi.2019.6.3(34))
  28. Glotko A., Sycheva I., Petrova L., Vorozheykina T., Tolmachev A., Islamutdinov D. Environmental problems of processing industry in the agro-industrial com-

- plex of the region. *Journal of Environmental Management and Tourism*, 2019, vol. 10(5), pp. 974-983. [https://doi.org/10.14505/jemt.v10.5\(37\).04](https://doi.org/10.14505/jemt.v10.5(37).04)
29. Golovina S., Poltarykhin A., Zhuravlev P., Mikolaychik I. Rural incomes are a condition for the formation of human capital in rural areas. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14(1), pp. 83-102. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-1-83-102>
30. M. Maiti, I. Kotliarov, V. Lipatnikov A future triple entry accounting framework using blockchain technology. *Blockchain: Research and Applications*, 2021, vol. 2, no. 4. <https://doi.org/10.1016/j.bcra.2021.100037>
31. Morgan K., Murdoch J. Organic vs. conventional agriculture: knowledge, power and innovation in the food chain. *Geoforum*, 2000, vol. 31, no. 2, pp. 159-173.
32. 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, no. 1/2, pp. 139-153. <https://doi.org/10.1108/IJSSP-03-2020-0074>
33. Sanders J., Gambelli D., Lernoud J., Orsini S., Padel S., Stolze M., Willer H., Zanolli R. Distribution of the added value of the organic food chain. Braunschweig: Thünen Institute of Farm Economics. 2016. <https://orgprints.org/id/eprint/31990/9/sanders-et-al-2016-Distribution-of-the-added%20value-EUCommission-ExecutiveSummary.pdf>
34. The World of Organic Agriculture 2021. IFOAM - Organics International. <https://www.ifoam.bio/world-organic-agriculture-2021>
35. Van Hilten M., Ongena G., Ravesteijn P. Blockchain for Organic Food Traceability: Case Studies on Drivers and Challenges. *Front. Blockchain*, 2020, vol. 3, 567175. <https://doi.org/10.3389/fbloc.2020.567175>
36. Voronkova O.Y., Perepechkina E.G., Shichiyakh R.A., Kuts V.I., Sungurov P.A., Glazkova G.V. Ecological and economic potential and prospects for organic production in the Regions of Russia. *International Journal of Economics and Business Administration*, 2019, vol. 7, pp. 583–594.

### ВКЛАД АВТОРОВ

**Воронкова О.Ю.:** общая концепция исследования, интерпретация данных, написание текста статьи, руководство.

**Петрова Л.И.:** интерпретация данных, написание текста статьи.

**Межова А.Ю.:** сбор данных, написание текста статьи.

**Ануфриева И.Ю.:** сбор и статистическая обработка данных, обзор публикаций по теме статьи

**Слукина А.А.:** статистическая обработка данных, обзор публикаций по теме статьи

**AUTHOR CONTRIBUTIONS**

**Olga Y. Voronkova:** general concept of the study, interpretation of data, writing the text of the article, guidance.

**Lyudmila I. Petrova:** interpretation of data, writing the text of the article.

**Alexandra Yu . Mezхова:** data collection, writing the text of the article.

**Irina Yu. Anufrieva:** data collection and statistical processing, review of publications on the topic of the article

**Anna A. Slukina:** statistical data processing, review of publications on the topic of the article

**ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ**

**Воронкова Ольга Юрьевна**, д.э.н., профессор кафедры «Менеджмента, организации бизнеса и инноваций»

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный университет»*

*пр. Ленина, 61, г. Барнаул, 656049, Российская Федерация  
olka2004@yandex.ru*

**Петрова Людмила Ивановна**, к.э.н., доцент кафедры «Менеджмента, организации бизнеса и инноваций»

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный университет»*  
*пр. Ленина, 61, г. Барнаул, 656049, Российская Федерация  
petrova.lix@yandex.ru*

**Межова Александра Юрьевна**, к.э.н., доцент кафедры «Финансы и кредит»

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный университет»*  
*пр. Ленина, 61, г. Барнаул, 656049, Российская Федерация  
alexa\_tarasova@mail.ru*

**Ануфриева Ирина Юрьевна**, к.э.н., доцент кафедры «Менеджмента, организации бизнеса и инноваций»

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный университет»*  
*пр. Ленина, 61, г. Барнаул, 656049, Российская Федерация  
anufrieva\_irina@mail.ru*

**Слукина Анна Андреевна**, студентка магистратуры кафедры «Менеджмента, организации бизнеса и инноваций»  
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный университет» пр. Ленина, 61, г. Барнаул, 656049, Российская Федерация*  
*slukinaaa@yandex.ru*

#### DATA ABOUT THE AUTHORS

**Olga Yu. Voronkova**, Doctor of Economics, Professor of the Department of “Management, Business Organization and Innovation”  
*Altai State University*  
*61, Lenin Ave., Barnaul, 656049, Russian Federation*  
*olka2004@yandex.ru*  
*SPIN-code: 7427-8725*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3106-4643>*  
*ResearcherID: AAC-2602-2019*  
*Scopus Author ID: 57204629646*

**Lyudmila I. Petrova**, Candidate of Economics, Associate Professor of the Department of Management, Business Organization and Innovation  
*Altai State University*  
*61, Lenin Ave., Barnaul, 656049, Russian Federation*  
*petrova.lix@yandex.ru*  
*SPIN-code: 1063-4163*  
*ResearcherID: AAU-7505-2020*  
*Scopus Author ID: 57204949428*

**Alexandra Yu. Mezхова**, Candidate of Economics, Associate Professor of the Department “Finance and Credit”  
*Altai State University*  
*61, Lenin Ave., Barnaul, 656049, Russian Federation*  
*alexa\_tarasova@mail.ru*  
*SPIN-code: 1022-0360*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1551-0844>*  
*Scopus Author ID: 57204629646*

**Irina Yu. Anufrieva**, Candidate of Economics, Associate Professor of the Department of Management, Business Organization and Innovation

*Altai State University*

*61, Lenin Ave., Barnaul, 656049, Russian Federation*

*anufrieva\_irina@mail.ru*

*SPIN-code: 9413-2570*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3773-4193>*

**Anna A. Slukina**, graduate student of the Department of Management, Business Organization and Innovation

*Altai State University*

*61, Lenin Ave., Barnaul, 656049, Russian Federation*

*slukinaaa@yandex.ru*

Поступила 03.11.2022

После рецензирования 05.12.2022, 08.12.2022

Принята 18.12.2022

Received 03.11.2022

Revised 05.12.2022, 08.12.2022

Accepted 18.12.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-119-138

УДК 636.03



Научная статья | Общее животноводство

## ОСОБЕННОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ШЕРСТНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ТУВИНСКИХ КОЗЛОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОЗРАСТА

*Р.Ш. Иргит, А.А. Ходусов, М.Е. Пономарева,  
С.Н. Ондар, Р.Ш. Салбырын, М.И. Донгак*

*Стратегия сохранения генетического разнообразия подразумевает культивирование уникальных аборигенных пород животных. Тувинские грубошерстные козы являются относительно многоплодными, умеренно скороспелыми, и, кроме хорошей мясной продуктивности, обладают уникальными хозяйственно полезными признаками – очень тонким пухом.*

*Цель исследования – выявление возрастных особенностей морфометрических показателей шерстного покрова тувинских грубошерстных козлов и козчиков с применением оптического анализатора диаметра шерстных волокон OFDA – 2000. Исследованы образцы шерсти тувинских козлов возраста старше 3 лет ( $n=14$ ) и козчиков возраста 18 месяцев ( $n=20$ ). Длина пуховой зоны шерсти у козлов и козчиков составляет  $5,14 \pm 0,33$  см и  $4,45 \pm 0,15$  см соответственно, доля пуховых волос (диаметр менее 30 мкм) в штапеле – от  $85,0 \pm 1,23\%$  до  $87,37 \pm 1,34\%$ . Количество переходных волос находится на уровне  $3,85 \pm 0,82$ – $4,62 \pm 0,65\%$  ( $Cv$  62,51–79,90%). С возрастом у животных просматривается тенденция к огрублению волокон, об этом свидетельствует как смещение пика гистограммы с  $16,20 \pm 0,40$  мкм у козчиков к  $17,43 \pm 0,43$  мкм у козлов, так и содержание в структуре шерсти волос, относящихся к ости (шерсть козлов содержит в 7,2 раза больше волокон с диаметром больше 90 мкм).*

*Считаем, что при селекции тувинских коз для получения высококачественного пуха с наименьшим диаметром волокон, помимо длины пуха и его диаметра, необходимо особое внимание уделять наличию в шерсти волос переходного типа ( $30,1$ – $52,5$  мкм).*

**Ключевые слова:** тувинские козы; тонина пуха; пуховые козы; уравненность тонины пуха

*Для цитирования.* Иргит Р.Ш., Ходусов А.А., Пономарева М.Е., Ондар С.Н., Салбырын Р.Ш., Донгак М.И. Особенности показателей шерстной продуктивности тувинских козлов в зависимости от возраста // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №3. С. 119-138. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-119-138

Original article | Animal Husbandry

## INDICATORS OF DOWNY FIBER DIAMETER OF TUVA MALE GOATS DEPENDING ON AGE

**R.Sh. Irgit, A.A. Khodusov, M.E. Ponomareva,  
S.N. Ondar, R.Sh. Salbyryn, G.L. Oyun**

*The strategy for the conservation of genetic diversity involves the cultivation of unique native breeds of animals. Tuva coarse-haired goats are relatively prolific, moderately early maturing, and, in addition to good meat productivity, have unique economically useful traits – very thin fluff. The purpose of the study was to study the productive indicators of Tuva coarse-haired goats and goats to identify age-related features of the morphometric parameters of the coat using an OFDA-2000 optical analyzer of the diameter of wool fibers. 18 months (n=20). The length of the down is  $5.14 \pm 0.33$  cm and  $4.45 \pm 0.15$  cm in goats and goats, respectively. The proportion of downy hair (diameter less than 30  $\mu\text{m}$ ) in the staple ranges from  $85.0 \pm 1.23\%$  to  $87.37 \pm 1.34\%$ . The amount of transitional hair is at the level of  $3.85 \pm 0.82$ - $4.62 \pm 0.65\%$  (Cv 62.51-79.90%). With age, the animals tend to coarsen the fibers, this is evidenced by both the shift of the histogram peak from  $16.20 \pm 0.40$   $\mu\text{m}$  in goats to  $17.43 \pm 0.43$   $\mu\text{m}$  in goats, and changes in the structure of hair related to the awn (goat wool contains 7.2 times more fibers with a diameter of more than 90 microns). We believe that when selecting Tuva goats to obtain high-quality down with the smallest fiber diameter, special attention should be paid, in addition to the length of the down and its diameter, to the presence of a transitional hair type (30.1-52.5  $\mu\text{m}$ ).*

**Keywords:** tuvan goats; fur fiber diameter; downy goats; uniformity of fur fiber diameter

**For citation.** Irgit R.Sh., Khodusov A.A., Ponomareva M.E., Ondar S.N., Salbyryn R.Sh., Oyun G.L. Indicators of Downy Fiber Diameter of Tuva Male Goats Depending on Age. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 119-138. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-119-138

## Введение

Одним из наиболее адаптируемых видов скота на всех континентах являются козы, мировая популяция которых насчитывает 800 миллионов голов и 560 пород, что составляет 12% от общего числа зарегистрированных пород млекопитающих [15]. В России по численности коз первое место занимает Республика Тува, основное поголовье которых представлено советской шерстной породой и популяциями местных тувинских грубошерстных коз [18]. На основании информации, собранной в книгах учета администраций поселков, численность тувинских грубошерстных коз в 2019 году определена на уровне 7200 голов [4].

В селекционном процессе существует противоречие между тенденцией отказа от уникальных качеств аборигенных животных в пользу высокопродуктивных специализированных пород благодаря интенсификации животноводства и пониманием необходимости стратегии сохранения генетического разнообразия внутри пород и между ними, что позволяет избежать дальнейшей утраты генетических ресурсов [23]. Усиливающийся отбор в местных популяциях, сопровождающийся стандартизацией признаков, серьезное сокращение неконтролируемого размножения среди пород, приводит к фрагментации исходных генофондов [25].

Помимо того, что аборигенные козы неприспособлены к условиям кормления и содержания и лучше других животных используют самые труднодоступные горные пастбища, употребляя при этом большинство грубых кормов, они являются относительно многоплодными и умеренно скороспелыми. При этом, кроме хорошей мясной продуктивности местные козы обладают уникальными хозяйственно полезными признаками – очень тонким пухом [16]. Эти качества проявляются и в скрещивании. Среди помесных животных, полученных от скрещивания аборигенных коз с козлами советской шерстной породы, выделяют группы с полутонкой и полугрубой шерстью, при этом тонина шерсти у помесных козочек находится в пределах  $28,2 \pm 1,3$  –  $28,0 \pm 1,5$  мкм, а у козчиков от  $26,2 \pm 1,3$  до  $31,1 \pm 1,3$  мкм [13, 14].

Разведение коз для получения пуха является наиболее экономически обоснованным, если диаметр волокна менее 19 мкм, такой пух классифицируется как кашемир. Самый тонкий пух ( $14,5$  –  $17,0$  мкм) является отличительной чертой аборигенных коз Центральной Азии [19]. Самый дорогой пух получают от коз породы Чангтанги (Changthangi), он имеет средний диаметр 10-14 мкм, что обусловлено в том числе условиями содержания животных: высота пастбищных угодий над уровнем моря и их

качество, холодный и засушливый климат (3700-4500 м над уровнем моря и значительные сезонные и суточные колебания температуры – от 35°C до -40°C) [24].

По данным Masoni, I.L. [21], все значимые породы коз, от которых получают кашемир, принадлежат к одной группе, называемой среднеазиатскими козами. По данным Бекетова С.В. с соавторами, популяции тувинской местной козы генетически делится между двумя основными группами, в одной из которых объединены преимущественно монгольские аборигенные популяции, а в другой – среднеазиатские породы [5].

При этом необходимо отметить, что тонина пуха является не только породным признаком, но и во многом зависит и от условий кормления, возраста, пола и физиологического состояния животных [10]. Так, например, у коз алтайской белой пуховой породы выявлены возрастные особенности тонины пуха – данный показатель в возрасте 1 год составляет  $18,5 \pm 0,25$  мкм, а у взрослых животных –  $20,9 \pm 0,37$  мкм [3, 7].

В исследованиях Петрова Н.И. установлено, что корреляционная связь между начёсом пуха и его длиной составляет 0,76, между тониной пуховых волокон и начёсом пуха – 0,82, между длиной и тониной пуховых волокон – 0,91. У коз, имеющих высокую пуховую продуктивность, пуховые волокна более длинные и грубые по сравнению с низкопродуктивными животными, пуховые волокна у которых короче и тоньше [11].

В исследованиях Панина В.А., 2022 была установлена зависимость тонины пуха от типа шерстного покрова у коз оренбургской породы. У коз с длинной остью и значительно меньшей длиной пуха диаметр составил  $15,95 \pm 0,27$  мкм, если пух по длине равен ости или незначительно уступает ей то  $17,55 \pm 0,31$  мкм и в группе животных, у которых пух перерастает ость и образует косицы –  $18,05 \pm 0,23$  мкм, при этом животные третьей группы имеют начёс пуха на 34,9% больше, по сравнению с первой [9].

Положительное влияние на тонины пуховых волокон оказывает сбалансированное кормление коз, так добавление в рацион в возрасте 4-6 месяцев, метионина в количестве 11 мг на гол/сут, и в 12-18 месяцев фелуцена, позволяет получить от животных пуховые волокна тоньше на 0,9 мкм в возрасте 10 месяцев и на 1,4 мкм – в возрасте 19 месяцев, чем при обычном питании [9].

Альмеев И.А. с соавторами [1] и другие авторы [12, 17] сообщают о применении оптического анализатора диаметра шерстных волокон OFDA – 2000 для оценки качества шерсти при совершенствовании селекционной работы с козами в частных стадах. Согласно их данным тонина

пуховых волокон кыргызских пуховых коз составляет в среднем  $19,6 \pm 0,3 - 21,5 \pm 0,46$ , у козоматок  $17,5 \pm 0,32 - 18,5 \pm 0,33$  мкм, в годовалом возрасте пух у животных тоньше – у козчиков  $16,8 \pm 0,33$ , у козочек соответственно  $16,3 \pm 0,34 - 17,2 \pm 0,26$  мкм. Длина пуховых волокон составляет у козлов-производителей в среднем 9,8 см, с колебаниями от 7,0 до 14,0 см, у козоматок в среднем 7,9 см с колебаниями от 6,5 до 11,0 см, у годовалых козочек соответственно 8,7 см и 6,5-9,0 см. В селекционно-племенной работе для утонения пуха авторы рекомендуют использовать козлов-производителей кашмирского типа монгольской породы, естественная длина пуховых волокон у которых равна в среднем 4,6 см, а остевых – 7,6-8,8 см, при тонине пуха  $13,9 \pm 0,25$  мкм.

Мировое производство кашемира по сравнению с 1991 выросло в 4 раза и составило 20000 тонн. Основным производителем кашемира является Китай (70%), на втором месте Монголия (20%). Остальное производство козьего пуха сосредоточено в Иране, Афганистане, бывших республиках СССР, Индии, Турции и Пакистане [20]. Производство кашемира могло бы стать важной отраслью сельского хозяйства, особенно в условиях республики Тывы, с ее обширными горными, предгорными и полупустынными пастбищами, малоподходящими для других животных. В опубликованной литературе имеется отрывочные сведения о качестве пуха тувинских коз разных возрастов, работы о соотношении в штапеле волокон различного диаметра практически отсутствуют. Поэтому выявление зависимостей тонины пуха от разных факторов, как генотипических, так и паратипических, является актуальным и значимым для практики.

**Цель исследования** – изучение продуктивных показателей для выявления возрастных особенностей морфометрических показателей шерстного покрова тувинских козлов и козчиков. Данные исследования необходимы для проведения полноценной селекционной работы в популяциях тувинских коз. При этом изучение тонины и уравниности пуха с применением оптического анализатора диаметра шерстных волокон OFDA – 2000, является одним из наиболее объективных и информативных методов, позволяющих выявить, в том числе структуру волосного покрова.

### **Материалы и методы исследования**

Объектами исследования послужили тувинские аборигенные козлы-производители в возрасте старше 3 лет ( $n=14$ ) и ремонтные козлики в возрасте 18 месяцев ( $n=20$ ) из СППК «Уургай» Эрзинского района, расположенного в юго-восточной части Республики Тыва, на высоте над уров-

нем моря 1102 м. Климат в данной местности весьма суровый: в зимний период, длящийся около 180 дней средняя температура составляет минус 30°C и может понижаться до минус 60°C, в летний период температура в среднем +18°C, а максимальная +40°C.

У животных в апреле 2021 года во время бонитировки была измерена живая масса путем индивидуального взвешивания после 15-часовой голодной выдержки с точностью до 0,1 кг. Образцы шерсти отбирали с бока за лопаткой, шерсть исследовали с применением оптического анализатора диаметра волокон OFDA 2000 в лаборатории Ставропольского ГАУ [22]. Диаметр волокон определяли, делая срез, отступив 5-7 мм от низа штапеля. В штапеле были проведены измерения естественной длины пуха и остевых волос линейкой с точностью до 5 мм.

При изучении морфологического состава шерсти, волокна разделяли согласно ГОСТ 2260-2006, на пух (средняя тонины от 5 до 30 мкм), переходное волокно (тонины от 30,1 до 52,0 мкм) и ость (тонины более 52,1 мкм). Ость в зависимости от тонины подразделяли на волокно тонкое (52,1-75,0 мкм), среднее (75,1-90,0 мкм) и грубое (90,1 мкм и более).

Все полученные цифровые данные обработали при помощи пакета статистического анализа Microsoft Excel 2007.

### **Результаты исследований и их обсуждение**

Исследуемая группа козлов-производителей в возрасте старше трёх лет имела среднюю живую массу 61,24±1,63 кг с отклонением до 17 кг, чего не наблюдается у молодых особей, у которых при  $C_v=2,46$  максимальное отклонение от среднего составляет 1,6 кг (таблица 1). У козлов-производителей обнаруживается корреляция между живой массой и длиной ости на уровне 0,52, при этом длина пуховой зоны косицы не имеет зависимости от данного показателя. У исследуемых групп обоих возрастов не отмечено корреляции живой массы как с тониной пуха, так и со средней тониной волокон в штапеле.

Несмотря на то, что средняя живая масса имеет достоверные отличия в зависимости от возраста, средняя длина пуховой зоны косицы, достоверных отличий не имеет, при этом у взрослых животных максимальная длина на 2 см больше. В то же время достоверные отличия наблюдаются между группами по длине ости и соотношению длины разных типов волос, при этом максимальный показатель по соотношению наблюдается у козликов и составляет 0,86. Таким образом можно сделать вывод, что у всех изученных животных пуховая зона короче ости. Необходимо отметить, что показатель отношения длины пуховой зоны к длине ости не зависит

от длины волокон и к примеру коэффициент 0,53-0,56, встречается как у козлов с длиной ости 15 см, так и у относительно коротковолосых животных (9 см), у козчиков при длине ости 7 см соотношение с пуховой зоной может составлять как 0,57, так и 0,86, при этом коэффициент корреляции между длиной пуховых и кроющих волокон находится на уровне 0,48-0,52.

Таблица 1.

**Живая масса и длина шерсти тувинских козлов и козчиков**

Группа животных	Показатели	Живая масса, кг	Длина остевых волос, см (ДО)	Длина пуховой зоны, см (ДП)	ДП/ДО
Козлы старше 3-х лет	M±m	61,24±1,63	12,43±0,73	5,14±0,33	0,42±0,03
	lim	44,20-70,20	9,00-19,00	4,00-8,00	0,31-0,64
	Cv	9,94	22,03	23,94	22,88
Козлики 18 мес.	M±m	36,34±0,20	8,30±0,27	4,45±0,15	0,54±0,02
	lim	35,00-38,00	7,00-11,00	4,00-6,00	0,44-0,86
	Cv	2,46	14,68	15,42	16,04
p		$1,697 \times 10^{-9}$	$4,212 \times 10^{-5}$	0,1506	$3,076 \times 10^{-5}$

В связи с тем, что на основе массива тувинских грубошерстных коз, разводимых в СППК «Уругай» создаётся новый пуховый тип тувинских коз, был проведён анализ по соответствию минимальным требованиям к основным селекционируемым признакам козлов старше трёх лет и козчиков в возрасте 18 месяцев. Минимальным требованиям, предъявляемым к живой массе, соответствуют 42,8% козлов (63 кг) и 100% козчиков (35 кг). При этом необходимо отметить, что 21,4% взрослых животных 36% козчиков относятся к классу элита и имеют живую массу больше 65 и 37 кг соответственно. Необходимо отметить что пуховая зона шерсти у всех животных имеет длину не менее 40 мм и соответствует требованиям ГОСТ 2260-2006.

Помимо длины пуха, важнейшим показателем качества является его тонина, в связи с этим образцы шерсти были исследованы с применением оптического анализатора диаметра волокон OFDA 2000, в результате чего были получены гистограммы, позволившие изучить морфологический состава штапеля шерсти. В таблице 2 представлены данные по процентному содержанию разных типов волокон (пух, переходное волокно, ость) в шерсти животных.

Анализ морфологического состава косицы показал, что наибольшее количество приходится на пуховые волокна (тонина менее 30 мкм) у козлов в среднем  $85,0 \pm 1,23\%$ , а у козчиков недостоверно выше  $87,37 \pm 1,34\%$ , при этом у молодых животных данный показатель менее консолидирован,

чем у взрослых за счёт того, что встречаются единичные животные с показателем 69,59%, в то время, как у взрослых животных данный показатель не опускается ниже 78%. При расчёте зависимости между содержанием пуховых волокон и их тониной у козлов таковой не было установлено, в то время, как у козчиков она составила 0,43.

Таблица 2.

**Соотношение волокон разных типов в штапеле шерсти  
тувинских козлов и козчиков, %**

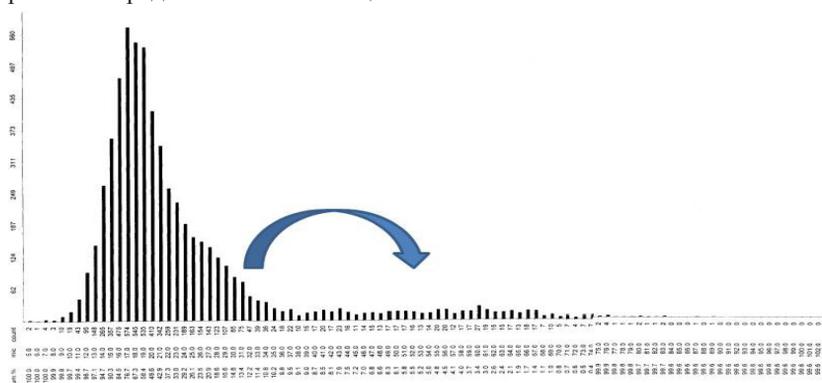
Группа	Показатели	Пух (до 30 мкм)	Переходный волос (30.1-52.5 мкм)	Ость >52,6 мкм			
				всего	тонкая (53-75 мкм)	средняя (76-90 мкм)	грубая >90 мкм
Козлы (старше 3-х лет)	M	85,00	3,85	11,15	3,68	2,76	4,71
	±m	1,23	0,82	1,14	0,67	0,51	1,09
	Cv	5,43	79,90	38,24	68,03	69,36	86,52
	lim	78,20-94,15	0,41-9,73	4,49-19,48	0,31-8,47	0,73-6,40	0,20-14,77
Козлики (18 мес)	M	87,37	4,62	8,01	5,69	1,67	0,65
	±m	1,34	0,65	1,04	0,75	0,29	0,15
	Cv	6,84	62,51	57,82	58,77	76,45	105,13
	lim	69,59-95,35	1,91-15,16	1,58-18,15	1,22-12,33	0,10-3,90	0,00-2,08
p		0,1107	0,8913	0,1219	0,0997	0,0518	0,0019

Согласно ГОСТ 2260-2006 в немытом классированном козьем пухе нормируется содержание остевых волос по массе, от 10% для первого класса, 20% для второго, до 40% для третьего и более 40% для четвертого, однако более тщательная градация по подклассам предусмотрена по тонине волокна. К первому подклассу первого класса тонкого пуха относят волокна с тониной менее 16,5 мкм, к второму подклассу относят пух с диаметром 16,6-19,0 мкм, волокна с диаметром от 19,1 до 22,0 мкм относятся к среднему пуху первого подкласса, а ко второму подклассу принадлежат волокна с тониной 22,1-25,0 мкм. Таким образом, важным показателем в характеристике шерсти коз является наличие переходного типа волокон, так как при их отсутствии, за счёт разницы в сроках линьки пуховых и остевых волос удаётся начесать более тонкий пух относящийся к высокому классу. Несмотря на отсутствие достоверной разницы между средними значениями содержания переходных волокон необходимо отметить, что у взрослых козлов данный показатель не превышает 9,73% в то время как у отдельных козчиков он может достигать

15,16%. В то же время у животных старше 3-х лет встречаются очень низкие показатели на уровне 0,41%, а среди 18-месячных не ниже 1,91%. Значительной разницей между индивидуальными показателями обусловлена высокая вариативность в группах достигающая 62,51-79,90%, что свидетельствует о широких возможностях по селекции животных в данном направлении.

В среднем количество остевых волос (диаметр >52,6 мкм) не имеет достоверных отличий несмотря на более высокий показатель у козлов (11,15±1,14%) по сравнению с козляками (8,01±1,04%), однако интересным является то, что содержание в шерсти грубой ости (диаметр >90 мкм) у молодых животных достоверно ниже, чем у взрослых, при этом встречаются козляки у которых такие волокна в штапеле отсутствуют.

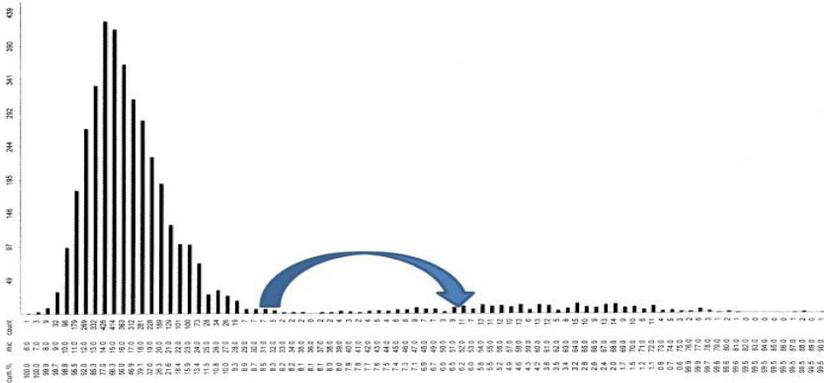
Необходимо отметить, что средняя тонина по штапелю, которую рассчитывает OFDA 2000, не характеризует тонину пуха, однако использование гистограмм распределения волокон по тонине сформированных данным прибором (рисунок 1, 2) после дополнительных расчётов с использованием пакета статистического анализа Microsoft Excel 2007, позволяет установить тонину отдельных групп волокон, результаты данных расчётов представлены в таблице 3.



**Рис. 1.** Гистограммы козлика (18 мес.) №6117  
(стрелкой обозначена зона переходного волоса)

На рисунках 1 и 2 представлены гистограммы, полученные при исследовании шерсти на оптическом анализаторе диаметра волокна OFDA 2000, на которых видно, что распределение волокон по диаметру может иметь значительные как сходство, так и отличия по отдельным типам волокон. Несмотря на одинаковое отсутствие грубой ости на представленных гистограммах в остальном они имеют значительные отличия. Козлик №6155

(рисунок 2) имеет оптимальную гистограмму для пухового направления продуктивности – пуховые волокна начинаются с диаметра 5 мкм, наибольшее количество имеет диаметр 14 мкм, общее количество составляет 91,73%, а переходный волос практически отсутствует (2,56% от общего количества). Гистограмма, приведённая на рисунке 1 принадлежащая козлику №6117, напротив является примером нежелательного типа животного для пухового направления продуктивности, так как несмотря на то, что пик гистограммы находится на 17 мкм и пуховые волокна начинаются с диаметра 6 мкм, переходные волосы составляют 8,18% от общего количества волокон в штапеле. Необходимо отметить, что чем ниже показатель переходного волоса, тем выше выход чистого пуха и тем лучше показатели его тонины, об этом свидетельствуют данные представленные в таблице 3.



**Рис. 2.** Гистограммы козлика (18 мес.) №6155 (стрелкой обозначена зона переходного волоса)

Несмотря на отсутствие достоверности в содержании разных типов волокон, за счёт большего содержания грубой ости у козлов, просматривается тенденция на огрубление волокон с возрастом, об этом свидетельствует, как смещение пика гистограммы с  $16,20 \pm 0,40$  мкм у козличков, к  $17,43 \pm 0,43$  мкм у козлов, так и достоверное увеличение средней тонины по штапелю с  $23,27 \pm 0,83$  мкм до  $27,23 \pm 1,02$  мкм.

Анализ представленных данных показывает, что у молодых животных диаметр пуховых волокон достоверно меньше на 1,2 мкм, чем у взрослых и в среднем по группе составляет  $18,04 \pm 0,30$  мкм, при этом в группе у козлов колебания тонины пуха находилась в пределах от  $17,40 \pm 0,07$  мкм до  $21,80 \pm 0,06$  мкм, а у козличков от  $16,00 \pm 0,03$  мкм до  $20,70 \pm 0,05$  мкм. При

требованиях предъявляемых к формируемому пуховому типу тувинских коз к козлам класса элита толщина пуха не более 22,5 мкм все животные старше 3-х лет соответствуют данному параметру. Среди козчиков классу элита (тонина меньше 19,5 мкм) соответствуют 90% животных, 5% относятся к 1 классу (тонина меньше 20,5 мкм) и 5% обследованных животных в возрасте 18 месяцев подлежат выбраковке по данному признаку.

Проведённые расчёты показали, что при смешивании пуховых волокон с переходными средняя тонина увеличивается на  $0,99 \pm 0,08$  мкм у козчиков и на  $0,69 \pm 0,16$  мкм у козлов, причём колебания могут составлять от 0,2 до 2,0 мкм, что обусловлено содержанием волокон переходного типа.

При анализе уравниности по тонине пуха  $C_v$  волокон с диаметром до 30 мкм не имеет достоверных отличий в возрастном аспекте и находится в пределах от 16,9 до 26,8%, однако при наличии примеси переходных волос может увеличиваться до 20,5-39,4%.

Проведённые расчёты показывают, что использование оптического анализатора диаметра волокон OFDA 2000 при исследовании штапеля шерсти, позволяет без дополнительных, достаточно трудоёмких расчётов с применением пакета статистического анализа Microsoft Excel 2007, возможно ориентировочное прогнозирование тонины пуха.

Таблица 3.

**Тонина пуха тувинских козлов и козчиков в зависимости от содержания волокон разных типов**

Группа	Показатели	Диаметр пуха с учётом волокон до 30 мкм		Диаметр пуха с учётом волокон до 52 мкм		$\Delta M$ тонины, мкм	Средний диаметр волокон в штапеле, мкм	Тонина на пике гистограммы, мкм
		M, мкм	$C_v$ , %	M, мкм	$C_v$ , %			
Козлы (старше 3-х лет)	M	19,26	21,12	19,95	26,51	0,69	27,23	17,43
	m	0,33	0,55	0,37	1,14	0,16	1,02	0,43
	$C_v$	6,41	9,78	6,87	16,09	84,44	14,04	9,20
	min	$17,40 \pm 0,07$	17,70	$18,20 \pm 0,05$	20,50	0,20	22,62	16,00
	max	$21,80 \pm 0,06$	25,60	$22,60 \pm 0,08$	33,50	2,00	36,23	21,00
Козлики (18 мес)	M	18,04	22,43	19,02	33,07	0,99	23,27	16,20
	m	0,30	0,55	0,31	0,81	0,08	0,83	0,40
	$C_v$	7,35	11,02	7,22	10,96	34,59	15,87	11,08
	min	$16,00 \pm 0,03$	16,90	$16,70 \pm 0,05$	24,70	0,50	17,50	13,00
	max	$20,70 \pm 0,05$	26,80	$21,50 \pm 0,07$	39,40	1,70	30,90	19,00
p		0,0389	0,0773	0,1576	0,0016	0,1441	0,0124	0,0525

Расчёт корреляции между тониной пуха и пиковым значением гистограммы у козлов составляет 0,9, а у козчиков 0,8. Отношение показателя средней тонины пуха к пиковому значению тонины на гистограмме у козлов составляет  $1,15 \pm 0,02$  от 1,04 до 1,24 при  $C_v=5,46$ , у козчиков данное соотношение имеет схожее значение  $1,12 \pm 0,02$  и колеблется в пределах 0,95-1,35 при  $C_v=7,36$ . При этом необходимо учитывать, что при расчёте диаметра волокон с учётом переходных волос средняя тонина увеличивается на  $0,24 \pm 0,01$  мкм на каждый процент переходных волокон. Таким образом, для дальнейшей селекции желательнее отбирать животных с содержанием переходных волос в штапеле не более 4%, среди исследованных животных к таким относится большинство среди козлов производителей – 64,27%, и меньше половины среди козчиков – 45,0%. Необходимо отметить, что среди взрослых животных 42,85%, имеют содержание переходного волоса менее 2%, а среди козчиков только 5% имеют такой показатель.

### Заключение

В результате проведённых исследований было установлено, что средняя живая масса тувинских козчиков в возрасте 1,5 лет достоверно ниже, чем у взрослых животных и составляет  $36,34 \pm 0,20$  кг ( $C_v=2,46$ ) и составляет 60% от массы взрослых козлов ( $61,24 \pm 1,63$  кг) ( $C_v=9,94$ ), при этом длина пуха у козлов не достоверно больше, чем у козчиков  $5,14 \pm 0,33$  см и  $4,45 \pm 0,15$  см соответственно. В результате исследований шерсти с использованием оптического анализатора диаметра волокна OFDA 2000 было установлено, что доля пуховых волос (диаметр менее 30 мкм) в штапеле не имеет значительных отличий по возрастам и составляет от  $85,0 \pm 1,23\%$  ( $C_v=5,43$ ) в возрасте старше 3 лет до  $87,37 \pm 1,34\%$  ( $C_v=6,84$ ) у молодняка, при этом количество переходных волос в среднем также не отличается и находится на уровне  $3,85 \pm 0,82$ - $4,62 \pm 0,65\%$ . О значительных возможностях по селекции животных в направлении уменьшения содержания в штапеле волокон переходного типа свидетельствует высокая вариативность в группах достигающая 62,51-79,90%, которая характеризуется наличием животных, как с содержанием таких волокон на оптимальном уровне – 0,41%, так и на негативном – 15,16%. При этом наличие переходных волос увеличивает среднюю тонины пуха на  $0,24 \pm 0,01$  мкм на каждый процент переходных волокон.

С возрастом, у животных просматривается тенденция к огрублению волокон, об этом свидетельствует, как смещение пика гистограммы с  $16,20 \pm 0,40$  мкм у козчиков, к  $17,43 \pm 0,43$  мкм у козлов, так и изменения в

структуре волос относящихся к ости (шерсть козлов содержит в 7,2 раза больше волокон с диаметром больше 90 мкм, по сравнению с козляками,  $4,71 \pm 1,09$  и  $0,65 \pm 0,15\%$  соответственно), что влияет на показатель среднего диаметра по штапелю  $27,23 \pm 1,02$  мкм в возрасте старше 3 лет против  $23,27 \pm 0,83$  мкм в 18 месяцев.

Средний диаметр пуховых волокон у козчиков в возрасте 18 месяцев достоверно меньше, чем у взрослых козлов старше 3-х лет и составляет соответственно  $18,04 \pm 0,30$  мкм и  $19,26 \pm 0,33$  мкм, при этом уравнивание по тонине пуха  $S_v$  волокон с диаметром до 30 мкм не имеет достоверных отличий в возрастном аспекте и находится в пределах от 16,9 до 26,8%. Следует отметить, что при смешивании пуховых волокон с переходными средняя тонина образца увеличивается на  $0,99 \pm 0,08$  мкм у козчиков и на  $0,69 \pm 0,16$  мкм у козлов, что в среднем составляет  $0,24 \pm 0,01$  мкм на каждый процент переходных волокон.

Исходя из полученных данных, при селекции тувинских коз для получения высококачественного пуха с наименьшим диаметром волокон необходимо особое внимание уделять помимо длины пуха и его диаметра наличию переходного типа волос ( $30,1-52,5$  мкм).

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

**Информация о спонсорстве.** Исследование проведено по заказу Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Тыва (договор №353 от 11.07.2022 г. на выполнение научно-исследовательской работы по теме «Проведение научных исследований по утверждению пухового типа тувинских коз»).

#### *Список литературы*

1. Альмеев И.А., Абдурасулов А.Х. Селекция в пуховом и молочном козоводстве // Новости науки в АПК. 2018. № 2-1(11). С. 24-27. <https://doi.org/10.25930/w464-cq07>
2. Белик Н.И., Бобрышова Г.Т. Пуховая продуктивность коз // Зоотехния. 1997. № 4. С. 14.
3. Белые пуховые козы на Алтае / Подкорытов А.Т., Каргачакова Т.Б., Селионова М.И., Подкорытов Н.А. // Вестник АПК Ставрополя. 2017. № 1(25). С. 95-97.
4. Генетические маркеры в козоводстве (обзор) / Селионова М.И., Трухачев В.И., Айбазов А.М.М., Столповский Ю.А., Зиновьева Н.А. // Сельскохозяй-

- ственная биология. 2021. Т. 56. № 6. С. 1031-1048. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.6.1031rus>
5. Генетическое разнообразие и филогения пуховых коз Центральной и Средней Азии / Бекетов С.В., Пискунов А.К., Воронкова В.Н., Петров С.Н., Харзинова В.Р., Доцев А.В., Зиновьева Н.А., Селионова М.И., Столповский Ю.А. // Генетика. 2021. №57 (7). С. 810-819. <https://doi.org/10.31857/S0016675821070031>
  6. ГОСТ 2260-2006. Межгосударственный стандарт. Пух козий невытый классированный.
  7. Каргачакова Т.Б., Чикалев А.И.. Алтайские белые пуховые козы // Овцы, козы, шерстяное дело. 2016. № 2. С. 9.
  8. Панин В.А. Некоторые особенности коз оренбургской породы с различными типами шёрстного покрова, определяющие качество пуха // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 2(94). С. 320-325. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-94-2-320-325>
  9. Панин В.А. Тонина волокон шёрстного покрова коз оренбургской породы // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. №3(95). С. 347-352. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-95-3-347-352>
  10. Петров Н.И. Продуктивность белых оренбургских коз и их помесей с белыми козлами придонской породы // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 3 (65). С. 154 – 157.
  11. Петров Н.И. Направление и степень связи между признаками оренбургских коз // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 1(81). С. 211-214.
  12. Разведение разных генотипов пуховых и молочного типа коз / Альмеев И.А., Абдурасулов А.Х., Жээнбекова Б., Жумагулов Ж. // Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скрябина. 2018. № 2(47). С. 153-157.
  13. Сандак-хуурак О.О.О., Монгуш С.Д., Двалишвили В.Г. Весовой рост и шерстная продуктивность молодняка коз советской шерстной породы // Овцы, козы, шерстяное дело. 2018. № 1. С. 26-27.
  14. Сандак-Хуурак О.О., Ооржак Р.Т. Продуктивные качества тувинских коз советской шерстной породы // Успехи современной науки и образования. 2017. Т. 7. № 4. С. 164-168.
  15. Состояние всемирных генетических ресурсов животных в сфере продовольствия и сельского хозяйства / ФАО, 2010. ВИЖ РАСХН, 2010. Москва / Перевод с англ. ФАО. 2007. The State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture, edited by Barbara Rischkowsky & Dafydd Pilling. Rome.

16. Хайитов А.Х., Станишевская О.Н., Сафаров Т.С. Биологические и хозяйственные признаки местных коз // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2016. № 45. С. 139-145.
17. Характеристика продуктивных признаков коз разных генотипов / Альмеев И.А., Абдурасулов А.Х., Муратова Р.Т., Жумагулов Ж.Х. // Вестник Ошского государственного университета. 2021. Т. 2. № 2. С. 19-26.
18. Чикалев А.И., Каргачакова Т.Б. Состояние и перспективы научных исследований в козоводстве Республики Алтай // Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. 2014. Т. 3. № 7. С. 156-159.
19. Эргашев Д.Э. Особенности отбора коз по качеству шерсти // Сельское хозяйство Таджикистана. 2009. № 2. С.37-39.
20. Food and Agriculture Organization / Production Year Book, Food and Agricultural Organization of the United Nations. Rome, 2012.
21. Masoni I.L. Wild goats and their distribution // Goat Production. 1981. С. 35-55.
22. Morphological Composition of Wool of Tuvan Coarse-Wooled Breeding Goats / Irgit R.Sh., Khodusov A.A., Ponomareva M.E., Ondar S.N., Salburyn R.S. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Veliky Novgorod, 07 октября 2021 года. Veliky Novgorod, 2021. P. 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/852/1/012038>
23. Reist-Marti S.B., Simianer H., Gibson J., Hanotte O., Rege J.E.O. Weitzman's approach and conservation of breed diversity: an application to African cattle breeds // Conserv Biol. 2003. №17. С. 1299-1311 <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2003.01587.x>
24. Ryder M.L. Cashmere, Mohair and Other Luxury Fibres for the Breeder and Spinner / Southampton: White Rose II. 1987.
25. Taberlet P., Coissac E., Pansu J. et al. Conservation genetics of cattle, sheep, and goats // C R Biol. 2011. №334 (3). С. 247–254. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2010.12.007>

### References

1. Al'meev I.A., Abdurasulov A.Kh. Seleksiya v pukhovom i molochnom kozovodstve [Selection in down and dairy goat breeding]. *Novosti nauki v APK*, 2018, no. 2-1(11), pp. 24-27. <https://doi.org/10.25930/w464-cq07>
2. Belik N.I., Bobryshova G.T. Pukhovaya produktivnost' koz [Down productivity of goats]. *Zootekhnika*, 1997, no. 4, pp. 14.
3. Belye pukhovye kozy na Altae [White downy goats in Altai] / Podkorytov A.T., Kargachakova T.B., Selionova M.I., Podkorytov N.A. *Agricultural Bulletin of Stavropol Region*, 2017, no. 1(25), pp. 95-97.

4. Geneticheskie markery v kozovodstve (obzor) [Genetic markers in goat breeding (review)] / Selionova M.I., Trukhachev V.I., Aybazov A.M.M., Stolpovskiy Yu.A., Zinov'eva N.A. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 2021, vol. 56, no. 6, pp. 1031-1048. <https://doi.org/10.15389/agrobiolgy.2021.6.1031rus>
5. Geneticheskoe raznoobrazie i filogeniya pukhovyykh koz Tsentral'noy i Sredney Azii [Genetic diversity and phylogeny of downy goats of Central and Central Asia] / Beketov S.V., Piskunov A.K., Voronkova V.N., Petrov S.N., Kharzinova V.R., Dotsev A.V., Zinov'eva N.A., Selionova M.I., Stolpovskiy Yu.A. *Russian Journal of Genetics*, 2021, no. 57 (7), pp. 810-819. <https://doi.org/10.31857/S0016675821070031>
6. GOST 2260-2006. Mezhgosudarstvennyy standart. Pukh koziy nemytyy klasirovannyy [Interstate standard. Goat down unwashed classified].
7. Kargachakova T.B., Chikalev A.I. Altayskie belye pukhovyekozy [Altai white downy goats]. *Ovtsy,kozy, sherstyanoe delo*, 2016, no. 2, pp. 9.
8. Panin V.A. Nekotorye osobennosti koz orenburgskoy porody s razlichnymi tipami sherstnogo pokrova, opredelyayushchie kachestvo pukha [Some features of goats of the Orenburg breed with different types of coat, which determine the quality of down]. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2022, no. 2(94), pp. 320-325. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-94-2-320-325>
9. Panin V.A. Tonina volokon sherstnogo pokrova koz orenburgskoy porody [The fineness of the wool fibers of the goats of the Orenburg breed]. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2022, no. 3(95), pp. 347-352. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-95-3-347-352>
10. Petrov N.I. Produktivnost' belykh orenburgskikh koz i ikh pomesey s belymi kozlami pridonoskoy porody [The productivity of white Orenburg goats and their crosses with white goats of the Don breed]. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2017, no. 3 (65), pp. 154-157.
11. Petrov N.I. Napravlenie i stepen' svyazi mezhdu priznakami orenburgskikh koz [Direction and degree of connection between the signs of the Orenburg goats]. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2020, no. 1(81), pp. 211-214.
12. Razvedenie raznykh genotipov pukhovyykh i molochnogo tipa koz [Breeding different genotypes of downy and dairy type goats] / Al'meev I.A., Abdurasulov A.Kh., Zheenbekova B., Zhumagulov Zh. *Vestnik Kyrgyzskogo natsional'nogo agrarnogo universiteta im. K.I. Skryabina*, 2018, no. 2(47), pp. 153-157.
13. Sandak-khuurak O.O.O., Mongush S.D., Dvalishvili V.G. Vesovoy rost i sherstnaya produktivnost' molodnyaka koz sovetzkoy sherstnoy porody [Weight growth and wool productivity of young goats of the Soviet wool breed]. *Ovtsy,kozy, sherstyanoe delo*, 2018, no. 1, pp. 26-27.

14. Sandak-Khuurak O.O., Oorzhak R.T. Produktivnye kachestva tuvinskikh koz sovetsoy sherstnoy porody [Productive qualities of Tuva goats of the Soviet wool breed]. *Uspekhi sovremennoy nauki i obrazovaniya*, 2017, vol. 7, no. 4, pp. 164-168.
15. The State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture, edited by Barbara Rischkowsky & Dafydd Pilling. Rome. FAO, 2007.
16. Khayitov A.Kh., Stanishevskaya O.N., Safarov T.S. Biologicheskie i khozyaystvennye priznaki mestnykh koz [Biological and economic signs of local goats]. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*, 2016, no. 45, pp. 139-145.
17. Kharakteristika produktivnykh priznakov koz raznykh genotipov [Characteristics of productive traits of goats of different genotypes] / Al'meev I.A., Abdurasulov A.Kh., Muratova R.T., Zhumagulov Zh.Kh. *Vestnik Oshskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2021, vol. 2, no. 2, pp. 19-26.
18. Chikalev A.I., Kargachakova T.B. Sostoyaniye i perspektivy nauchnykh issledovaniy v kozovodstve Respubliki Altay [State and prospects of scientific research in goat breeding in the Republic of Altai]. *Sbornik nauchnykh trudov Stavropol'skogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhivotnovodstva i kormoproizvodstva*, 2014, vol. 3, no. 7, pp. 156-159.
19. Ergashev D.E. Osobennosti otbora koz po kachestvu shersti [Features of the selection of goats for wool quality]. *Sel'skoe khozyaystvo Tadzhikistana*, 2009, no. 2, pp. 37-39.
20. Food and Agriculture Organization / Production Year Book, Food and Agricultural Organization of the United Nations. Rome, 2012.
21. Masoni I.L. Wild goats and their distribution. *Goat Production*, 1981, pp. 35-55.
22. Morphological Composition of Wool of Tuva Coarse-Wooled Breeding Goats / Irgit R.Sh., Khodusov A.A., Ponomareva M.E., Ondar S.N., Salburyn R.S. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Veliky Novgorod, 07 oktyabrya 2021 goda. Veliky Novgorod*, 2021, 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/852/1/012038>
23. Reist-Marti S.B., Simianer H., Gibson J., Hanotte O., Rege J.E.O. Weitzman's approach and conservation of breed diversity: an application to African cattle breeds. *Conserv Biol.*, 2003, no. 17, pp. 1299-1311. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2003.01587.x>
24. Ryder M.L. Cashmere, Mohair and Other Luxury Fibres for the Breeder and Spinner / Southampton: White Rose II, 1987.
25. Taberlet P., Coissac E., Pansu J. et al. Conservation genetics of cattle, sheep, and goats. *C R Biol.*, 2011, no. 334 (3), pp. 247-254. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2010.12.007>

**ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ**

**Иргит Раиса Шугууровна**, доцент, кандидат сельскохозяйственных наук,  
доцент кафедры ветеринарии и зоотехнии  
*ФГБОУ ВО Тувинский государственный университет*  
*ул. Ленина, 36, г. Кызыл, 667000, Республика Тыва, Российская Фе-*  
*дерация*  
*raisairgit@gmail.com*

**Ходусов Александр Анатольевич**, доцент, кандидат ветеринарных наук,  
доцент базовой кафедры частной зоотехнии, селекции и разведе-  
ния животных  
*ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ*  
*пер. Зоотехнический, 12, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация*  
*hoalan@mail.ru*

**Пономарева Мария Евгеньевна**, доцент, кандидат ветеринарных наук,  
доцент кафедры кормления животных и общей биологии  
*ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ*  
*пер. Зоотехнический, 12, г. Ставрополь, 355017, Российская Феде-*  
*рация*  
*m-ponomareva-st@mail.ru*

**Ондар Светлана Начыновна**, доцент, кандидат сельскохозяйственных  
наук, доцент кафедры ветеринарии и зоотехнии  
*ФГБОУ ВО Тувинский государственный университет*  
*ул. Ленина, 36, г. Кызыл, 667000, Республика Тыва, Российская Фе-*  
*дерация*  
*ondarsn@mail.ru*

**Салбырын Рада Шолбан-ооловна**, кандидат сельскохозяйственных наук,  
лаборант кафедры ветеринарии и зоотехнии  
*ФГБОУ ВО Тувинский государственный университет*  
*ул. Ленина, 36, г. Кызыл, 667000, Республика Тыва, Российская Фе-*  
*дерация*  
*sulbyrynrada16@gmail.com*

**Оюн Галина Ланзыевна**, старший преподаватель кафедры ветеринарии  
и зоотехнии

*ФГБОУ ВО Тувинский государственный университет  
ул. Ленина, 36, г. Кызыл, 667000, Республика Тыва, Российская Фе-  
дерация  
galinalansy1963@mail.ru*

#### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Raisa Sh. Irgit**, Associate Professor, Candidate of Agricultural Sciences, As-  
sociate Professor of the Department of Veterinary Medicine and Animal  
Science

*Tuva State University  
36, Lenin Str., Kyzyl, 667000, Tyva Republic, Russian Federation  
raisairgit@gmail.com  
SPIN-code: 9694-9598  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8038-6075>  
ResearcherID: HHS-1400-2022  
Scopus Author ID: 57219412439*

**Alexander A. Khodusov**, Associate Professor, Candidate of Veterinary Scienc-  
es, Associate Professor of the Basic Department of Private Zootechnics,  
Selection and Breeding of Animals

*Stavropol State Agrarian University  
12, per. Zootechnicheskyy, Stavropol, 355017, Russian Federation  
hoalan@mail.ru  
SPIN-code: 1056-5470  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3497-0913>  
ResearcherID: K-3356-2018  
Scopus Author ID: 56768214700*

**Maria E. Ponomareva**, Associate Professor, Candidate of Veterinary Sciences,  
Associate Professor of the Department of Animal Feeding and General  
Biology

*Stavropol State Agrarian University  
12, per. Zootechnicheskyy, Stavropol, 355017, Russian Federation  
m-ponomareva-st@mail.ru  
SPIN-code: 1725-2026  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4161-4722>  
ResearcherID: C-4931-2013  
Scopus Author ID: 57188722439*

**Svetlana N. Ondar**, Associate Professor, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Veterinary Medicine and Animal Science

*Tuva State University*

*36, Lenin Str., Kyzyl, 667000, Tyva Republic, Russian Federation*

*ondarsn@mail.ru*

*SPIN-code: 3497-5720*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1206-8518>*

*ResearcherID: HIR-1315-2022*

*Scopus Author ID: 57301878000*

**Rada Sh. Salbyryn**, Candidate of Agricultural Sciences, laboratory assistant of the Department of Veterinary Medicine and Animal Science

*Tuva State University*

*36, Lenin Str., Kyzyl, 667000, Tyva Republic, Russian Federation*

*sulbyrynrada16@gmail.com*

*SPIN-code: 3497-5720*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5401-3542>*

*ResearcherID: HHS-4791-2022*

*Scopus Author ID: 57302359300*

**Dongak Mariya Ivanovna**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Veterinary Medicine and Animal Science

*Tuva State University*

*36, Lenin Str., Kyzyl, 667000, Tyva Republic, Russian Federation*

*dongakmariya@mail.ru*

*Spin-code 5453-6489*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7333-8385>*

*ResearcherID: AID-8165-2022*

Поступила 17.12.2022

После рецензирования 25.12.2022

Принята 10.01.2023

Received 17.12.2022

Revised 25.12.2022

Accepted 10.01.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-139-154

UDC 004.85:631.1:631.559:631.432.23



Original article | Soil Water Regimes

## APPLICATION OF BIG DATA TECHNOLOGIES TO ASSESS THE NATURAL MOISTURE OF THE TERRITORY

*A.I. Pavlova*

*Due to the sharp changes in climatic conditions in Western Siberia, the most pressing problem is food security associated with forecasting crop yields. There is a need to estimate the natural wetness of the area on the basis of agroclimatic indicators, among which the sum of active air temperatures and precipitation is currently the most widely used.*

**Background.** *However, for a comprehensive assessment of the wetness of the territory, it is necessary to take into account the climate energy resources associated with evaporation of different time resolutions (day, decades, months, vegetation period, year). The initial meteorological parameters are described in the form of poorly structured information of a large volume. Therefore, various technologies and algorithms of machine processing are used in the work.*

**Purpose.** *The application of big data technologies to assess the natural moisture of the territory*

**Materials and methods.** *With the help of the high-level Python programming language and engineering libraries, a comprehensive assessment of the territory was carried out using the example of Mirny of the Kochenevsky District of the Novosibirsk Region in the context of long-term average data and two years 2019 and 2020. That the use of machine processing technologies related to NoSQL data requests, creation of data set and big data slices allows to store and process meteorological parameters using cloud services of different time resolution. This makes it possible to significantly reduce the time for a comprehensive assessment of the territory according to agroclimatic parameters. As a result of the work, precipitation distribution, temperature, relative air humidity, evaporability, humidification coefficients (Ivanov-Vysotsky and Selyaninov hydrothermal coefficient) were obtained.*

**Results.** *The paper proposes to use technologies of big data processing using Python, including pre-processing of poorly structured hydrometeorological data,*

*execution of NoSQL queries, compilation of summary reports on agroclimatic parameters. Pre-processing consists of processing hourly meteorological data, filling gaps in the data, making slices in big data to process multi-temporal queries (day, month, growing season, year). By the example of Mirny farm in Kochenevsky district of Novosibirsk region (Russian Federation), big data processing was performed to calculate agroclimatic parameters to assess the natural moisture content of the area and yield forecasting.*

**Conclusion.** *The practical significance of the work is as follows:*

- *the application of big data processing technologies has significantly reduced the time for the labor-intensive process of assessing agrometeorological parameters;*
- *obtained aggregated meteorological parameters of different temporal resolution (hours, days, decades, months) allowed us to identify a strong variability of agroclimatic conditions for the territory of Mirny farm Kochenevsky district, located in the forest-steppe zone of Western Siberia;*
- *perform an integral assessment of agroclimatic conditions by calculating the integral indices of moisture, climate continentality, and agroclimatic potential.*

**Keywords:** *climatic conditions; moisturizing; machine learning algorithms; machine learning model; forest-steppe zone; yield forecasting; moisture supply of the territory*

**For citation.** *Pavlova A.I. Application of Big Data Technologies to Assess the Natural Moisture of the Territory. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 139-154. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-139-154*

Научная статья | Водный режим почвы

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ БОЛЬШИХ ДАННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ ТЕРРИТОРИИ

*А.И. Павлова*

*В связи с резким изменением климатических условий в Западной Сибири наиболее актуальной проблемой является продовольственная безопасность, связанная с прогнозированием урожайности сельскохозяйственных культур. Возникает необходимость оценки естественной увлажненности территории*

на основе агроклиматических показателей, среди которых в настоящее время наиболее широко используется сумма активных температур воздуха и осадков.

**Обоснование.** Однако для комплексной оценки увлажненности территории необходимо учитывать климатические энергетические ресурсы, связанные с испарением различного временного разрешения (сутки, декады, месяцы, вегетационный период, год). Исходные метеорологические параметры описываются в виде плохо структурированной информации большого объема. Поэтому в работе используются различные технологии и алгоритмы машинной обработки.

**Цель работы.** Применение технологий больших данных для оценки естественного увлажнения территории.

**Материалы и методы.** С помощью языка программирования высокого уровня Python и инженерных библиотек была проведена комплексная оценка территории на примере г. Мирный Кочневского района Новосибирской области в разрезе средних многолетних данных и двух лет 2019 и 2020 гг. Что использование технологий машинной обработки запросов к данным NoSQL, создание набора данных и срезов больших данных позволяет хранить и обрабатывать метеорологические параметры с использованием облачных сервисов различного временного разрешения. Это дает возможность значительно сократить время на комплексную оценку территории по агроклиматическим параметрам. В результате работы получено распределение осадков, температура, относительная влажность воздуха, испаряемость, коэффициенты увлажнения (гидротермический коэффициент Иванова-Высоцкого и Селянинова).

**Результаты.** В работе предлагается использовать технологии обработки больших данных с использованием Python, включая предобработку слабо структурированных гидрометеорологических данных, выполнение NoSQL запросов, составление сводных отчетов по агроклиматическим параметрам. Предварительная обработка заключается в обработке почасовых метеорологических данных, заполнении пробелов в данных, создании срезов в больших данных для обработки разновременных запросов (день, месяц, вегетационный период, год). На примере хозяйства «Мирный» Кочневского района Новосибирской области (Российская Федерация) была проведена обработка больших данных для расчета агроклиматических параметров с целью оценки естественной влагообеспеченности территории и прогнозирования урожайности.

**Заключение.** Практическая значимость работы заключается в следующем:

- применение технологий обработки больших данных позволило значительно сократить время на трудоемкий процесс оценки агрометеорологических параметров;

- полученные агрегированные метеорологические параметры различного временного разрешения (часы, дни, декады, месяцы) позволили выявить сильную изменчивость агроклиматических условий для территории хутора Мирный Коченевского района, расположенного в лесостепной зоне Западной Сибири;
- провести интегральную оценку агроклиматических условий путем расчета интегральных индексов увлажнения, континентальности климата и агроклиматического потенциала.

**Ключевые слова:** климатические условия; увлажнение; алгоритмы машинного обучения; модель машинного обучения; лесостепная зона; прогнозирование урожайности; влагообеспечение территории

**Для цитирования.** Павлова А.И. Применение технологий больших данных для оценки естественного увлажнения территории // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №3. С. 139-154. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-139-154

## Introduction

Good spatial planning is essential to implementing ecological-landscape approaches. An adaptive-landscape farming systems are being developed for the rational use of agricultural land in Russia. The basic of such systems are the results of agro-ecological evaluation of land. It is necessary to perform a comprehensive assessment of the territory by climatic, geomorphological, soil, and economic conditions. The application of geographic information systems (GIS) allows us to systematize a variety of information in spatial databases. Climatic factors play the most important role in shaping crop productivity. Currently relevant research in the field of automated data analysis for assessing the state, monitoring agricultural land and crop productivity management [5, 11, 15]. Application of geoinformation technologies allows to systematize various information in cartographic and attributive databases, facilitates the solution of the problem of integrated assessment of the territory [7, 14, 17-20].

In the domestic literature there are often works devoted to the calculation of the average annual agrometeorological parameters. However, due to the sharp fluctuations of weather conditions, the calculation of agrometeorological parameters for individual periods of the growing season during the year is most relevant. In the domestic literature there are articles devoted to the problem of forming databases of meteorological parameters of different temporal resolution.

Scientific novelty of the work consists in the application of technologies for processing poorly structured meteorological data. The big data processing

technologies used in the work are related to statistical analysis of the data, identification and filling in the missing values, taking into account the average value for the day, conversion of symbolic data into a numeric form, structuring the original information and recording it in a compact SQLite database. The novelty of the research is in the application of NoSQL queries to large meteorological data, allowing the formation of the result in the form of tables and summary reports with different time intervals [24-25]. This is of practical importance for calculating not only the average annual values, but also the actual agrometeorological parameters for individual periods of crop vegetation [2, 12, 13].

A large number of works devoted to the creation of spatial geodatabases (geodatabases) have been published. The practical implementation of such geodatabases is often associated with the geographic data set of the ArcGIS geographic information system. Geographic datasets, in turn, consist of spatial objects united by thematic content. The objects belonging to the same class are characterized by a certain geometric data type, coordinate system and map projection. From this point of view, the spatial database acts as a physical repository of diverse information [16].

In our opinion, the development of spatial databases for agricultural land assessment requires a multidimensional approach.

Such an approach can be realized by applying:

- modern Internet technologies, cloud technologies of data storage and access;
- technologies of big data processing;
- use of Geographic Information System (GIS) for spatial reference of objects and creation of information models.

Currently, there are challenges in developing a spatial data infrastructure for comprehensive agricultural land assessment.

Despite the various functionality of GIS, work on the creation of applied agrometeorological GIS is still relevant [21-23, 26]. In particular, agroclimatic assessment of territory resources and soil-ecological assessment is carried out on the basis of multi-year statistical hydrometeorological parameters [4, 6, 12, 13]. When predicting and managing the productivity of cereals, it is necessary to operate not only with the average long-term information of the heat and moisture supply of the growing period, but also with their change during the current year by decades, months, vegetation periods. In the conditions of the sharply continental climate of Western Siberia, uneven precipitation in certain periods of vegetation has a significant impact on the level of productivity of grain crops.

The purpose of the studies is to assess the wetness of the territory (Mirny in the Kochenevsky district of the Novosibirsk region) using Big Data technologies.

The tasks of the work are to select agroclimatic parameters for assessing the wetness of the territory; initial data collection and systematization; processing of current and archived meteorological data using big data technologies.

Data processing technologies based on data mining are becoming increasingly common. Among such methods regression, decision trees, deep neural networks, genetic algorithms are most widely used. Big data technologies are available to a wide range of people thanks to the Python language. The object-oriented programming language Python is characterized by the compactness of the program code and the presence of engineering libraries.

### Materials and Methods

Agroclimatic indicators affecting plant growth and development, and, consequently, the value of yields, were used to estimate the moisture content of the area. The sum of active air temperatures above 10°C was used as an indicator of heat supply of the territory and biological needs of crops. This sum of average daily air temperatures determines the duration of the growing season of the leading crops. Precipitation, air humidity, evaporation, as well as coefficient by N.N. Ivanov (Ky) [4] and hydrothermal coefficient (HC) by G.T. Selyaninov [12] were used as indicators of humidity. To fully assess the energy resources of climate and agroclimatic conditions of crop cultivation, the climate continental coefficient (Cc) and agroclimatic potential (AP) were calculated [3, 6].

In determining evaporability, equations of water and heat balances are used, as well as empirical relationships of evaporability with air temperature and air humidity deficit. The humidification coefficient was determined by the formula of G. N. Vysotsky – N. N. Ivanov [4]:

$$K_v = R/E, \quad (1)$$

where  $R$  – rainfall, mm;  $E$  – evaporability, mm.

In the conducted studies, evaporability was calculated according to the formula of N.N. Ivanov, according to which monthly indicators of relative humidity and air temperature are taken into account:

$$E_m = 0,0018 \cdot (25 + T)^2 \cdot (100 - \alpha), \quad (2)$$

where  $E_m$  – monthly evaporability in mm;  $T$  – average monthly air temperature in °C;  $\alpha$  – average monthly relative air humidity as a percentage.

Evaporability per decade in mm was calculated using the formula of N.N. Ivanov:

$$E_{\text{д}} = 0,061 \cdot (25 + t)^2 \cdot (1 - 0,01\beta), \quad (3)$$

where  $E_{\text{д}}$  – evaporability per decade in mm;  $t$  – average air temperature in °C per decade;  $\beta$  – relative air humidity per decade, %.

The value of continental climate is influenced by the geographical features of the territory, as well as the air temperature of the warmest month and the coldest month. The climate continental coefficient ( $C_c$ ) was calculated according to the formula [6]:

$$C_c = \frac{360(t_{\max} - t_{\min})}{\varphi + 10}, \quad (4)$$

where  $t_{\max}$  – the average monthly temperature of the warmest month;  $t_{\min}$  – the average monthly temperature of the coldest month;  $\varphi$  – the latitude, degrees.

For a generalized assessment, the agroclimatic potential is calculated

$$AP = \frac{\sum t > 10(K_y - P)}{C_c + 100}, \quad (5)$$

where  $\sum t > 10$  – sum of active air temperatures above 10°C;

$K_y$  – precipitation-evaporation ratio;

$P$  – correction for humidification factor.

To assess the hydrothermal conditions of wheat cultivation, an integral humidification indicator was used in the work – a hydrothermal coefficient (HC) determined by the formula of G.T. Selyaninov in the form of a ratio of the sum of precipitation for a certain period multiplied by 10 to the sum of active air temperatures above 10°C for the same period:

$$HC = \frac{R \cdot 10}{\sum t > 10}, \quad (6)$$

where  $R$  – the amount of precipitation, mm; At the same time humidification excess for HC is more than 1.3; optimal with HC from 1 to 1.3; insufficient for HC less than 1; weak – HC less than 0.5 [12].

## Results

In order to increase the efficiency of calculations of agroclimatic parameters, an information model has been developed. This model is necessary in the future for the practical implementation of agronomic geographic information systems.

For calculations, daily data of hydrometeorological parameters obtained at meteorological sensors of weather stations are used. Fig. 1 shows the initial data of the meteorological station Obskaya, located in the Novosibirsk region and having the number according to the generally accepted international system 29635.

Местное время	T	Po	P	U	DD	Ff	ff10	VV	Td	RRR	tR	sss
16.12.2020 19:00	-12.4	766.0	778.3	83	Ветер, дующий с юго-юг	5	4.0	4.0	-14.7	0.2	12	
16.12.2020 10:00	-15.6	766.9	779.3	90	Штиль, безветрие	0	10.0	10.0	-16.9			
16.12.2020 07:00	-14.4	766.2	778.5	89	Ветер, дующий с юго-заг	1	4.0	4.0	-15.9	1	12	28
16.12.2020 01:00	-12.7	764.5	776.7	89	Ветер, дующий с юго-заг	2	4.0	4.0	-14.1			
15.12.2020 22:00	-12.3	763.1	775.3	87	Ветер, дующий с юго-заг	2	4.0	4.0	-14.0			
15.12.2020 19:00	-11.9	762.1	774.3	86	Ветер, дующий с западо	2	4.0	4.0	-13.5	0.3	12	
15.12.2020 16:00	-11.9	760.6	772.7	87	Ветер, дующий с юго-заг	3	4.0	4.0	-13.6			
15.12.2020 13:00	-9.6	758.3	771.2	91	Ветер, дующий с юго-заг	4	4.0	4.0	-10.8			
15.12.2020 10:00	-8.7	758.8	770.8	92	Ветер, дующий с юго-заг	3	10.0	10.0	-9.8			
15.12.2020 07:00	-9.5	758.6	770.5	86	Ветер, дующий с юго-заг	4	20.0	20.0	-11.4	1	12	24
15.12.2020 04:00	-10.1	758.5	770.5	85	Ветер, дующий с западо	3	20.0	20.0	-12.2			
15.12.2020 01:00	-8.6	758.2	770.1	86	Ветер, дующий с юго-заг	4	20.0	20.0	-10.6			
14.12.2020 22:00	-8.4	758.8	770.6	93	Ветер, дующий с юго-юг	7	11	4.0	-9.3			
14.12.2020 19:00	-9.1	759.7	771.6	87	Ветер, дующий с юго-юг	8	20.0	20.0	-10.9	0.2	12	
14.12.2020 16:00	-11.9	761.2	773.3	88	Ветер, дующий с юго-юг	2	10.0	10.0	-13.5			
14.12.2020 13:00	-12.0	762.1	774.1	85	Ветер, дующий с юго-юг	5	20.0	20.0	-14.1			
14.12.2020 10:00	-11.9	762.3	774.4	85	Ветер, дующий с юго-юг	5	20.0	20.0	-13.9			
14.12.2020 07:00	-11.6	762.4	774.4	85	Ветер, дующий с юго-заг	3	10.0	10.0	-13.6			
14.12.2020 04:00	-12.2	762.1	774.3	85	Ветер, дующий с юго-заг	2	20.0	20.0	-14.2	0.2	12	23
14.12.2020 01:00	-12.5	762.0	774.1	85	Ветер, дующий с западо	2	10.0	10.0	-14.5			
13.12.2020 22:00	-12.3	761.3	773.4	81	Ветер, дующий с юго-заг	2	20.0	20.0	-14.9			
13.12.2020 19:00	-11.6	760.9	773.0	79	Ветер, дующий с западо	2	20.0	20.0	-14.5	0.4	12	
13.12.2020 16:00	-11.1	760.4	772.4	87	Ветер, дующий с юго-заг	2	4.0	4.0	-12.9			
13.12.2020 13:00	-11.8	760.8	772.9	82	Ветер, дующий с юго-юг	7	20.0	20.0	-14.3			
13.12.2020 10:00	-12.8	761.1	773.2	85	Ветер, дующий с юга	7	20.0	20.0	-14.8			
13.12.2020 07:00	-12.5	761.4	773.5	86	Ветер, дующий с юго-юг	7	10.0	10.0	-14.4	Следы ос	12	23
13.12.2020 04:00	-11.7	761.9	774.0	86	Ветер, дующий с юго-юг	5	10.0	10.0	-13.6			
13.12.2020 01:00	-10.6	762.3	774.3	87	Ветер, дующий с юго-юг	5	10.0	10.0	-12.4			
12.12.2020 22:00	-10.2	762.9	774.9	86	Ветер, дующий с юго-юг	5	20.0	20.0	-12.1			
12.12.2020 19:00	-9.8	763.1	775.1	86	Ветер, дующий с юго-юг	5	20.0	20.0	-11.8	0.3	12	
12.12.2020 16:00	-10.2	763.0	775.1	88	Ветер, дующий с юга	3	10.0	10.0	-11.9			
12.12.2020 13:00	-10.8	763.5	775.6	90	Ветер, дующий с юга	5	2.0	2.0	-12.2			
12.12.2020 10:00	-11.1	763.9	776.0	87	Ветер, дующий с юго-юг	7	10.0	10.0	-12.8			
12.12.2020 07:00	-11.2	763.9	776.0	90	Ветер, дующий с юга	5	4.0	4.0	-12.6	0.2	12	23
12.12.2020 04:00	-10.8	764.5	776.6	83	Ветер, дующий с юга	6	10.0	10.0	-13.1			

Fig. 1. Baseline meteorological data used to estimate humidification.

Source: <https://rp5.ru/>

Initial meteorological data are characterized by poor structuring, large volume, complexity of processing in a traditional way, for example, using mathematical calculations using Microsoft Excel. For example, in the absence of precipitation, various types of data are used: numerical (in the presence of precipitation), as well as symbolic (in the presence of traces of precipitation or their absence). In this regard, a program was developed in the Python programming language. Python language allows you to develop full-featured programs with a graphical interface, as well as perform data processing online using frameworks. In practice, various frameworks are used: Google Colab, PyTorch, Veles (Samsung), Apache Spark Mllib, Apache Mahout, Apache Singa, Caffe 2, Microsoft Azure ML Studio, Microsoft Cognitive Toolkit, Amazon Machine Learning, Brainstorm, Marvin, Neon.

This allowed us to analyze wetting conditions using the example of the Mirny land use located in Kochenevsky district of Novosibirsk region (81.9591°, 54.8962°, 82.2747° eastern longitude, 55.0092° north latitude, Russia). The study area belongs to the central forest-steppe Priobsky agro-landscape region. Geomorphologically, this area belongs to the high structural geomorphological relief surface [1,8,9,10] with prevailing elevations from 175 to 210 m above sea level. The Priobskoe plateau is located in the south-eastern part of the Ob-Irtysh interflaves and occupies most of the Novosibirsk region. The Priobskoe plateau

is bounded by the Salair ridge in the north, the Biye-Chumyshskaya Upland in the south, the Kulundinskaya alluvial plain in the southwest and the Barabinskaya lowland in the west. During the Paleogene there was a gradual sinking of the Priobskoe plateau with a gradual accumulation of thick layers of sedimentary rocks. The modern relief was formed in the Lower and Middle Quaternary period and is associated with erosion processes. Later in the Upper Quaternary, a young erosional relief developed on the Priobskoe plateau [1, 8-10].

The soil cover is diverse. Automorphic, hydromorphic and semi-hydromorphic soils are widespread. Automorphic soils with common and leached chernozem are found on the tops of hills. The slopes of the uvals are occupied by meadow-chernozem and dark grey forest soils. The lower parts of slopes are mainly covered with meadow-chernozem soils. Meadow soils, as well as soil complexes with salts, meadow-marsh humus, meadow solonchaks and meadow-marsh marshes are widespread among the massifs of black earth soils. The most depressed areas in the relief are occupied by meadow-marshy humus, marshy soils. In the depressions, marshy soils can be found under woody vegetation.

Meteorological parameters of 2019 and 2020 were used for processing (more than 8000 lines in the dataset) (Table 1). The following techniques of big data processing are used in the work, involving mathematical operations of sorting, coding, construction of data slices, and aggregation. The process of enlargement or aggregation serves in the work to reduce dimensionality and better represent the results of moisture estimation. Aggregation procedures were used to systematically describe precipitation, air temperature, relative humidity, and evaporation with different temporal resolution: by decades, months, vegetation periods (May-June, May-July, May-August) and annual average.

Table 1.

**Agroclimatic conditions of growing season humidification  
for grain crops cultivation**

Indicator	month	2019 year	2020 year
Precipitation, mm	May	28	44
	June	17	32
	July	94	75
	August	20	49
Sum of active air temperatures above 10 degrees Celsius	May	372	569
	June	571	576
	July	699	716
	August	705	688

In general, the hydrothermal conditions of the growing season in 2019 for wheat growth on the territory of Mirny in the Kochenevsky district were insufficient and assigned to the dry agriculture zone ( $HC = 0,68$ ). The hydrothermal conditions of the growing season in the current 2020 for wheat growth were also insufficient and classified as an arid zone of agriculture ( $HC = 0,78$ ). The results of the assessment of natural humidification in 2019 and this year showed that the studied area belongs to the zone of moderately insufficient and unstable humidification. Humidification ratios were 0,40 (2019) and 0,58 (2020).

The results showed that the agroclimatic conditions for wheat cultivation in the current year were more favorable, in comparison with 2019. The humidification indicator for the vegetation period (Vysotsky-Ivanov humidification coefficient) and the hydrothermal coefficient (G.T. Selyaninov) exceed the values of last year.

In general, the values of soil and environmental indices in 2019 are less by an average of 30 points, which is explained by a decrease in agroclimatic potential ( $AP = 6,55$ ). Agroclimatic conditions in 2020 were more favorable for wheat cultivation, compared to 2019. The climate continental coefficient was 185, which is significantly less than the average long-term value ( $C_c = 364$ ). Agroclimatic potential is higher by 3,65 compared to last year.

## Discussion

In the course of the research, the moisture content of the farm located in the forest-steppe zone of Western Siberia was assessed. In the cultivation of grain crops climate is the most important factor. The results of the work showed the possibilities of quantitative assessment of agroclimatic parameters with different temporal resolution.

The use of big data processing technologies to assess the moisture content of the territory allows one hand to process poorly structured data without the use of standard data query languages. This significantly speeds up the analysis process. On the other hand, use of programming language Python and engineering libraries is aimed at possibility of fast conversion of the processed data in different formats. So our developed program allows to save data in Excel, pdf, csv formats and present it as a table of modern DBMS SQLite. This is aimed at expanding the possibilities of displaying spatial data for geographic information systems.

However, for crop yield prediction, the results of evaluation of topography, soils and environmental factors related to plant requirements are needed. Therefore, further research is aimed at an integrated approach in the assessment

of agroclimatic, geomorphological and soil conditions of the territory for the prediction of grain crop yields.

In the course of the research, the moisture content of the farm located in the forest-steppe zone of Western Siberia was assessed. In the cultivation of grain crops climate is the most important factor. The results of the work showed the possibilities of quantitative assessment of agroclimatic parameters with different temporal resolution.

The use of big data processing technologies to assess the moisture content of the territory allows one hand to process poorly structured data without the use of standard data query languages. This significantly speeds up the analysis process. On the other hand, use of programming language Python and engineering libraries is aimed at possibility of fast conversion of the processed data in different formats. So our developed program allows to save data in Excel, pdf, csv formats and present it as a table of modern DBMS SQLite. This is aimed at expanding the possibilities of displaying spatial data for geographic information systems.

However, for crop yield prediction, the results of evaluation of topography, soils and environmental factors related to plant requirements are needed. Therefore, further research is aimed at an integrated approach in the assessment of agroclimatic, geomorphological and soil conditions of the territory for the prediction of grain crop yields.

### **Conclusion**

The practical significance of the work is as follows:

- the application of big data processing technologies has significantly reduced the time for the labor-intensive process of assessing agrometeorological parameters;
- obtained aggregated meteorological parameters of different temporal resolution (hours, days, decades, months) allowed us to identify a strong variability of agroclimatic conditions for the territory of Mirny farm Kochenevsky district, located in the forest-steppe zone of Western Siberia;
- perform an integral assessment of agroclimatic conditions by calculating the integral indices of moisture, climate continentality, and agroclimatic potential.

In general, the obtained results of the assessment of humidification of the territory of the farm Mirny Kochenevsky district 2019 and 2020 characterize a significant variability of agroclimatic conditions for the cultivation of grain crops. Uneven distribution of the main environmental factors of heat and moisture during the growing season of crops has a significant impact on the value of agroclimatic potential.

**Information on conflict of interest.** The author declares that there is no conflict of interest

**Information about sponsorship.** The work was not sponsored, the author did not receive a fee for the research.

### References

1. Arkhipov S.A., Vdovin V.V., Mizerov B.V., Nikolaev V.A. *Zapadno-Sibirskaya ravnina* [West Siberian Plain]. M.: Nauka, 1970, 283 p.
2. Budyko M. I. *Klimat i zhizn* [Climate and life]. L.: Gidrometeoizdat, 1971, 472 p.
3. *Gosudarstvennaya kadaastrovaya otsenka zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya Rossiyskoy Federatsii* [State cadastral valuation of agricultural land of the Russian Federation]. Ed. Sapozhnikov P.M., Nosov S.I. M.: OOO «NIP-KTs VOSKhOD-A», 2012. 160 s.
4. Ivanov N. N. *Landshafino-klimaticheskie zony zemnogo shara* [Landscape and climatic zones of the globe]. Moscow, Leningrad: izd-vo akad. nauk SSSR, 1948, 224 p.
5. Kalichkin V. K., Pavlova A. I. *Agronomicheskie geoinformatsionnye sistemy* [Agronomic geoinformation systems]. Novosibirsk, SFNTsA RAN, 2018, 347 p.
6. Karmanov I.I., Bulgakov D.S. *Metodika pochvenno-agroklimaticheskoy otsenki pakhotnykh zemel' dlya kadastra* [Methodology of soil-agro-climatic assessment of arable land for the cadastre]. M.: Izd-vo OOO «APR», 2012, 121 p.
7. Mayorova M.A., Markin M.I. *Teoreticheskaya ekonomika*, 2019, no. 2(50), pp. 67-71.
8. Nikolaev V.A. *Zapadno-Sibirskaya ravnina* [West Siberian Plain]. Moscow: Nauka, 1970, pp. 226-255.
9. Nikolaev V.A. *Novosibirskaya oblast'. Priroda i resursy* [Novosibirsk region. Nature and resources]. Novosibirsk: Nauka, 1978, pp. 5-25.
10. Orlov A.D. *Vodnaya eroziya pochv Novosibirskogo Priob'ya* [Water erosion of soils in the Novosibirsk Ob region]. Novosibirsk: Nauka, 1971, 173 p.
11. Pavlova A.I., Kalichkin V.K. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*, 2018, vol. 48, no. 1, pp. 80-88. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2018-1-11>
12. Selyaninov G.T. *Printsipy agroklimaticheskogo rayonirovaniya SSSR. Voprosy agroklimaticheskogo rayonirovaniya SSSR* [Principles of agro-climatic zoning of the USSR. Issues of agro-climatic zoning of the USSR]. M.: Izd-vo min-va sel'sk. khoz-va SSSR, 1958, pp. 3-13.
13. Shashko D.I. *Agroklimaticheskoe rayonirovanie SSSR* [Agroclimatic zoning of the USSR]. M.: Kolos, 1967, 335 p.

14. Yakushev V.P. *Vestnik RAN*, 2019, no. 2, pp. 11-15.
15. Ali A., Qaidir J., Rasool R. at al. Big Data for development: applications and technologies. *Big Data Analytics*, 2016, no. 2. <https://doi.org/10.1186/s41044-016-0002-4>
16. Bhimani A. Exploring Big Data: Strategic Consequences. *Journal of Information Technology*, 2015, vol. 30, no. 1, pp. 66–69. <https://doi.org/10.1057/jit.2014.29>
17. Carolan, M. Smart Farming Techniques as political ontology: access, sovereignty and performance of neoliberal and not-so-neoliberal worlds. *Sociologia Ruralis*, 2017. <https://doi.org/10.1111/soru.12202>
18. Fischer G., Mahendra H. van V., Freddy M., Nachtergaele F. Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Viale delle Terme di Caracalla Rome, Italy, 2002, 155 p. <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/6667/1/RR-02-002.pdf>
19. Javaregowda M. Role of Big Data in Agriculture. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 2019, vol. 9, no. 2, pp. 3811-3821. <https://doi.org/10.35940/ijitee.A5346.129219>
20. Khan N., Yaqoob I., Abaker I. at all. Bid Data: survey, technologies, opportunities and challenges. *Scientific World Journal*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/712826>
21. Lacombe C., Couix N., Hazard L. Designed agroelological farming systems with farmers: a review. *Agricultural systems*, 2018, vol. 165, pp. 208-220. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.06.014>
22. Pavlova A. The application GIS and Remote Sensing data to the development of a multiscale soil information system. (2020, 26-27 March). *Book of Proceedings: 51th International Scientific Conference on Economic and Social Development*. Rabat, 2020, pp. 211-219.
23. Regan A. Smart farming in Ireland: a risk perception study key governance actors. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 2019, vol. 90-91. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.02.003>
24. Singh N. Big Data technology: developments in current research and emerging landscape. *Enterprise Information System*, 2019, vol. 13, is.6, pp. 801-831. <https://doi.org/10.1080/17517575.2019.1612098>
25. Sudmanns M., Tiede D., Lang S. at all. Big Earth data: disruptive changes in Earth observation data management and analysis? *International Journal of Digital Earth*, 2020, vol. 13, no. 7, pp. 832-850. [tps://doi.org/10.1080/17538947.2019.1585976](https://doi.org/10.1080/17538947.2019.1585976)

26. The role of agroecology and integrated farming systems in agricultural sustainability / Edwards C.A., Grove T.L., Harwood R.R., Pierce Colfer C.J. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1993, vol. 46, is.1-4, pp. 99-121. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(93\)90017-J](https://doi.org/10.1016/0167-8809(93)90017-J)

### Список литературы

1. Архипов С.А., Вдовин В.В., Мизеров Б.В., Николаев В.А. Западно-Сибирская равнина. М.: Наука, 1970. 283 с.
2. Бudyко М. И. Климат и жизнь. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 472 с.
3. Государственная кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации. Под общей редакцией Сапожникова П.М., Носова С.И. М.: ООО «НИПКЦ ВОСХОД-А», 2012. 160 с.
4. Иванов Н. Н. Ландшафтно-климатические зоны земного шара. Москва, Ленинград: изд-во акад. наук СССР, 1948. 224 p.
5. *Каличкин В. К., Павлова А. И.* Агрономические геоинформационные системы. Новосибирск, СФНЦА РАН, 2018. 347 с.
6. Карманов И.И., Булгаков Д.С. Методика почвенно-агроклиматической оценки пахотных земель для кадастра. М.: Изд-во ООО «АПР», 2012. 121 с.
7. Майорова М.А. Цифровое земледелие в производственно-экономической деятельности предприятий АПК / М. А. Майорова, М. И. Маркин // Теоретическая экономика. 2019. № 2(50). С. 67-71.
8. Николаев В.А. Геоморфологическое районирование Западно-Сибирской равнины // Западно-Сибирская равнина. Москва: Наука, 1970. С. 226-255.
9. Николаев В.А. Рельеф // Новосибирская область. Природа и ресурсы. Новосибирск: Наука, 1978. С. 5-25.
10. Орлов А.Д. Водная эрозия почв Новосибирского Приобья. Новосибирск: Наука, 1971. 173 с.
11. Павлова А.И., Каличкин В.К. Базы данных для агроэкологической оценки сельскохозяйственных земель // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2018. Т. 48, № 1. С. 80-88. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2018-1-11>
12. Селянинов Г.Т. Принципы агроклиматического районирования СССР. Вопросы агроклиматического районирования СССР. М.: Изд-во мин-ва сельск. хоз-ва СССР, 1958. С. 3-13.
13. Шашко Д.И. Агроклиматическое районирование СССР. М.: Колос, 1967. 335 с.
14. Якушев В.П. Цифровые технологии точного земледелия в реализации приоритета «умное сельское хозяйство» России // Вестник РАН. 2019. № 2. С. 11-15.
15. Ali A., Qaidir J., Rasool R. at al. Big Data for development: applications and technologies // Big Data Analytics, 2016, no. 2. <https://doi.org/10.1186/s41044-016-0002-4>

16. Bhimani A. Exploring Big Data: Strategic Consequences // *Journal of Information Technology*, 2015, vol. 30, no. 1, pp. 66–69. <https://doi.org/10.1057/jit.2014.29>
17. Carolan, M. Smart Farming Techniques as political ontology: access, sovereignty and performance of neoliberal and not-so-neoliberal worlds // *Sociologia Ruralis*, 2017. <https://doi.org/10.1111/soru.12202>
18. Fischer G., Mahendra H. van V., Freddy M., Nachtergaele F. Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Viale delle Terme di Caracalla Rome, Italy, 2002, 155 p. <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/6667/1/RR-02-002.pdf>
19. Javaregowda M. Role of Big Data in Agriculture // *International Journal of Innovate Technology and Exploring Engineering*, 2019, vol. 9, no. 2, pp. 3811-3821. <https://doi.org/10.35940/ijitee.A5346.129219>
20. Khan N., Yaqoob I., Abaker I. at all. Bid Data: survey, technologies, opportunities and challenges // *Scientific World Journal*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/712826>
21. Lacombe C., Couix N., Hazard L. Designed agroecological farming systems with farmers: a review // *Agricultural systems*, 2018, vol. 165, pp. 208–220. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.06.014>
22. Pavlova A. The application GIS and Remote Sensing data to the development of a multiscale soil information system. (2020, 26-27 March) // *Book of Proceedings: 51th International Scientific Conference on Economic and Social Development*. Rabat, 2020, pp. 211-219.
23. Regan A. Smart farming in Ireland: a risk perception study key governance actors. // *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 2019, vol. 90-91. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.02.003>
24. Singh N. Big Data technology: developments in current research and emerging landscape // *Enterprise Information System*, 2019, vol. 13, is.6, pp. 801-831. <https://doi.org/10.1080/17517575.2019.1612098>
25. Sudmanns M., Tiede D., Lang S. at all. Big Earth data: disruptive changes in Earth observation data management and analysis? // *International Journal of Digital Earth*, 2020, vol. 13, no. 7, pp. 832-850. [tps://doi.org/10.1080/17538947.2019.1585976](https://doi.org/10.1080/17538947.2019.1585976)
26. The role of agroecology and integrated farming systems in agricultural sustainability / Edwards C.A., Grove T.L., Harwood R.R., Pierce Colfer C.J. // *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1993, vol. 46, is.1-4, pp. 99-121. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(93\)90017-J](https://doi.org/10.1016/0167-8809(93)90017-J)

**DATA ABOUT THE AUTHOR**

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

**ДААННЫЕ ОБ АВТОРЕ**

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

Поступила 02.09.2022

После рецензирования 23.11.2022

Принята 13.12.2022

Received 02.09.2022

Revised 23.11.2022

Accepted 13.12.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-155-174

UDC 637.5



Original article | Feed Production

## DEVELOPING MEAT PRODUCTIVITY IN BULL CALVES OF DIFFERENT DGAT1 GENOTYPES

*T.A. Sedykh, L.A. Kalashnikova, I.Yu. Dolmatova,  
R.S. Gizatullin, V.I. Kosilov*

The given **research aims** to study the way meat productivity in special-purpose beef bull calves of different DGAT1 genotypes is developed. The **scientific novelty** of the research lies in the fact that an assessment of the meat productivity of Hereford and Limousin bulls of different DGAT1 genotypes was conducted for the first time. Calves were cultivated using elements of resource-saving technology. The **research subject** was Hereford male young stock (91 heads) and Limousin bull calves (109 heads), which were genotyped by SNP DGAT1-K232A. Live weight, average daily gains, and body size and conformation indices were **analyzed**. Hematological values and carcass quality of bull calves of different genotypes were **studied**. As a result of genotyping, young animals of both breeds had a similar distribution of genotypes ( $DGAT1^{KK} > DGAT1^{KA} > DGAT1^{AA}$ ) and alleles ( $DGAT1^K > DGAT1^A$ ). There was no effect of the studied gene polymorphism on growth, body development, and hematological parameters, as bull calves of different DGAT1 genotypes did not show a significant difference between weight and linear growth, blood morphological parameters, the content of protein, and its fractions. SNP DGAT1-K232A was found to affect fat deposition. Thus, carcasses of both studied breeds of  $DGAT1^K$  genotype had a significantly higher content of internal raw fat, and fat yield was ( $P < 0.05$ ) than carcasses of  $DGAT1^{AA}$  genotype bull calves. Therefore, genotyping by SNP DGAT1-K232A can be used in the selection of special-purpose beef cattle as an additional criterion to produce meat of a higher energy value.

**Keywords:** hereford breed; limousin breed; genotype; DGAT1; fattening qualities; meat qualities; development in postnatal ontogenesis

**For citation.** Sedykh T.A., Kalashnikova L.A., Dolmatova I.Yu., Gizatullin R.S., Kosilov V.I. Developing Meat Productivity in Bull Calves of Different DGAT1 Genotypes. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 155-174. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-155-174

Научная статья | Кормопроизводство

## ФОРМИРОВАНИЕ МЯСНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ У БЫЧКОВ РАЗНЫХ ГЕНОТИПОВ DGAT1

*Т.А. Седых, Л.А. Калашикова, И.Ю. Долматова,  
Р.С. Гизатуллин, В.И. Косилов*

*Целью данного исследования* является изучение того, как развивается мясная продуктивность у мясных бычков специального назначения различных генотипов DGAT1. **Научная новизна** исследований заключается в том, что впервые проведена оценка мясной продуктивности бычков герефордской и лимузинской пород различных генотипов по гену DGAT1, выращивание которых проводилось с использованием элементов ресурсосберегающей технологии. **Объектом исследования** были бычки герефордской породы (91 голова) и бычки лимузинской породы (109 голов), которые генотипировались по SNP DGAT1-K232A. Были **проанализированы** живая масса, среднесуточные приросты, а также размеры тела и показатели телосложения. **Изучены** гематологические показатели и качество туши бычков разных генотипов. В результате генотипирования молодые животные обеих пород имели сходное распределение генотипов ( $DGAT1^{KK} > DGAT1^{KA} > DGAT1^{AA}$ ) и аллелей ( $DGAT1^K > DGAT1^A$ ). В ходе исследования нами не было выявлено влияние изучаемого полиморфизма гена на рост, развитие тела и гематологические показатели, так как у бычков разных генотипов DGAT1 не наблюдалось существенной разницы между массой тела и линейным ростом, морфологическими показателями крови, содержанием белка и его фракций. Обнаружено, что SNP DGAT1-K232A влияет на отложение жира. Таким образом, туши обеих изученных пород генотипа  $DGAT1^K$  имели значительно более высокое содержание внутреннего сырого жира, а выход жира был ( $P < 0,05$ ), чем у туш бычков генотипа  $DGAT1^{AA}$ . Следовательно, генотипирование по гену SNP DGAT1-K232A может быть использовано при отборе специализированного мясного скота в качестве дополнительного критерия для получения мяса с более высокой энергетической ценностью.

**Ключевые слова:** герефордская порода; лимузинская порода; генотип; DGAT1; способность к откорму; качество мяса; развитие в постнатальном онтогенезе

**Для цитирования.** Седых Т.А., Калашикова Л.А., Долматова И.Ю., Гизатуллин Р.С., Косилов В.И. Формирование мясной продуктивности у бычков разных генотипов DGAT1 // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №3. С. 155-174. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-155-174

## Introduction

High-quality beef production from special-purpose beef cattle is one of the main growth areas for the Russian meat industry. The beef cattle industry in the Russian Federation is actively developing at present [5; 8]. As stated by the Russian Ministry of Agriculture, the number of cattle in the country amounted to more than 18 million heads in 2018, including special-purpose animals in all categories of farms that reached 2.26 million heads. A comprehensive assessment of 711.16 thousand heads, or 34.1% of the total number of beef cattle, including 389.8 thousand animals of 15 breeds and types bred in 57 regions of the Russian Federation, has shown that the largest populations are Aberdeen-Angus (417,545 heads), Kalmyk (137,262 heads), Hereford (87,278 heads), and Kazakh white-headed breeds (52,563 heads). The controlled livestock is purebred and IV generation, including 99.7% servicing bulls and 99.3% cows. As of January 1, 2019, the breeding base of beef cattle breeding of the country is represented by 270 breeding herds, including 46 breeding plants and 224 breeding reproducers [7].

Under current import substitution and food security strategies in the production of meat for processing, the gene pool of existing cattle breed populations of the Russian selection has received growing academic interest. The research results are used to develop programs for breed conservation and design organic production systems based on domestic genetic resources for selection [5; 7; 21].

The basis of selection and breeding programs is the early and accurate identification of breeding traits of the animal. The advantage of marker selection is the unrelatedness of genetic markers on paratypic factors; they do not change throughout the life of the animal. The mapping of quantitative trait loci (QTL) is of particular relevance for assessing genetic parameters. Additionally, there are difficulties recognizing markers for economic traits due to the low heritability level and trait polygenicity. The quantitative level of traits can be determined genetically by different allele variations in different genome loci. Alleles are concurrently tested. The identified allele variations can be used as markers for individual segments of closely linked chromosomes and genes. Some of these genes can be responsible for productivity traits [6].

Presently, marker selection contributes much to the development of beef cattle breeding and serves as an additional criterion for animal selection, in particular high-value species. It is an important resource for creating highly productive beef herds [1; 17]. Besides, assessing animals by genes that control productive, reproductive, and other economic traits is the most critical indicator of the pedigree livestock [4; 15; 17; 21].

Numerous studies aimed at establishing the relationship between meat productivity traits and single nucleotide polymorphism (*SNP*) of candidate genes are still relevant [6; 8; 9; 11; 14; 18].

Among the genes responsible for lipid metabolism in animals, the diacylglycerol O-acyltransferase 1 gene (*DGATI*) is an enzyme known for synthesizing triglycerides, diglycerides, and acyl-coenzyme A. The *DGATI* gene in cattle was mapped on the BTA14 chromosome. A. Winter et al. [19] have tested the *SNP* in exon 8 of the *DGATI* gene and revealed that the changes  $G \rightarrow A$  and  $C \rightarrow A$  at position 10434 result in the loss of the restriction site for *CfrI* endonuclease and the replacement (*K232A* polymorphism) of lysine with alanine ( $K \rightarrow A$ ). It has also been found that the lysine-coding allele (*K* allele) is associated with a higher fat content in milk [19]. I. F. Gorlov et al. [4] indicate that *DGATI*<sup>A</sup> is more common among *Bos taurus taurus* and practically not found among *Bos taurus indicus* and *Bos grunniens*.

Some Russian and foreign researchers claim that the polymorphism of the diacylglycerol-O-acyltransferase 1 (*DGATI*) gene is associated with the fatness of carcasses and the quality of meat [9; 11]. B. M. Sørensen et al. [18] have found a high correlation of the *DGATI* enzyme activity in cattle with the fat content in the longissimus muscle and the eye round. Research by R. A. Curi et al. [10] conducted on the Nelore cattle has shown that the *K* allele *DGATI* positively affects the subcutaneous fat layer thickness [10]. I. Anton et al. [8] have determined the effect of the *DGATI* gene polymorphism on the intramuscular fat content in Hungarian Angus. X. X. Wu et al. [20] consider that *DGATI* is a promising genetic marker for intramuscular fat content (*IMF*). L. Pannier et al. [14] have explored a significant impact of the marker on the subcutaneous fat content in the Charolais and Limousin metapopulations. It should be noted that studies of the *DGATI* polymorphism effect on meat productivity and quality traits of *Bos* animals failed to observe a reliable impact.

In our previous studies on genotyping Hereford and Limousin bull calves by the *DGATI* gene [16; 17], there were no resulting animals with the homozygous genotype by the second allele. In this regard, it was decided to increase the sample of experimental animals and the list of studied traits characterizing the development of meat qualities in young beef livestock in postnatal ontogenesis.

The scientific novelty of the research lies in the fact that an assessment of the meat productivity of Hereford and Limousin bulls of different *DGATI* genotypes was conducted for the first time. Calves were cultivated using elements of resource-saving technology.

## Materials and Methods

The research aimed to study the development of meat productivity in bull calves of various *DGAT1* genotypes. The research tasks were as follows: (1) genotyping Hereford and Limousin bull calves according to *SNP DGAT1-K232A*; (2) assessing live weight, average daily gain, and body size and conformational parameters of animals aged eight and twenty months; and (3) studying hematological parameters and quality of carcass of bull calves of various genotypes.

For genotyping by *SNP DGAT1-K232A*, Hereford (91 heads) and Limousin (109 heads) bull calves were genotyped at the age of one month. The young Hereford bulls were the offspring of the Australian selection animals bred in the livestock breeding farm SAVA-Argo-Usen LLC; Limousin bull calves descended from animals obtained in the livestock breeding farm SAVA-Agro-Yapryk LLC (Tuymazinsky district of the Republic of Bashkortostan, Russia) by accumulation crossbreeding of Simmental cattle with bulls of the French selection. The farms use stable-pasture technology, and summer maintenance on pasture is conducted according to the *cow-calf* system with resource-saving elements: (1) using empty livestock premises and ground runs for keeping cows with calves; (2) arranging rounded calving with regulated suckling; and (3) maximum use of pasture lands with electric fences and fattening of commercial young animals on open year-round operated feedlots. Bull calves were reared up to twenty months of age [2].

DNA was isolated from whole blood stabilized with sodium citrate using a set of *DNA-Extran (Syntol)*. Genotyping was performed by the PCR-RFLP method [9] using primers: F: 5'-gca-cca-tcc-tct-tcc-TCA-ag-3' and R: 5'-gga-agc-gct-ttc-tcc-gga-tg-3'. Amplifiers were cleaved by the *CfiI* endonuclease. The number and length of the received restriction fragments were found electrophoretically in 7.5% PAGE in UV light after staining with ethidium bromide. Restriction fragments were analyzed using the Gel Doc XR gel documentation system with the Image Lab version 2.0 *DNA-analyser* software. Restriction fragment sizes were as follows: 411 KK, 411, 208, 203 KA, and 208, 203 AA base pairs.

Depending on the identified genotypes, bull calves were divided into groups by the *DGAT1* gene: Group I – *DGAT1<sup>KK</sup>* (n=20); Group II – *DGAT1<sup>KA</sup>* (n=20); Group III – *DGAT1<sup>AA</sup>* (n=10).

The development of meat productivity was studied according to the dynamic indicators of live weight, average daily gains, conformation measurements, body-built indices, hematological values, and post-slaughter assessment of the carcass quality.

The live weight of calves was determined by weighing them on a floor scale at birth, eight months, twelve months, sixteen months, and twenty months. The average daily gain was found by the ratio of overall live weight gain for the growing period to the number of days in the period. Conformation recording was conducted at eight and twenty months of age, and standard and linear measurements were studied, namely, withers height, chest girth, chest width, chest depth, oblique body length, pastern width, and quarter size. Based on these measurements, conformation indices were calculated, particularly shoulder width, boniness, blockiness, frame size, meatiness, and body length index.

Hematological studies were performed under the clinical diagnostic laboratory. The blood morphological composition was determined by flow cytometry on an automatic LH-500 analyzer (Beckman Coulter). The total protein content was evaluated using an SYNCHRON CX4 PRO biochemical analyzer (Beckman Coulter). Protein fraction content was identified by the capillary electrophoresis automated solution MINICAP (Sebia).

Post-slaughter carcass evaluation of different genotype bull calves was performed at the SAVA meat processing plant. The carcass quality was assessed according to the Russian national standard GOST 33818-2016 – *Meat. High-quality beef. Specifications*. Pre-slaughter live weight, hot carcass weight, carcass yield, the weight of internal raw fat, fat yield, slaughter weight, and slaughter yield were found according to the classical methods developed in the All-Russian Animal Breeding Institute named after L. K. Ernst.

Statistical processing of the research results was conducted by standard methods using the software application *Microsoft Office Excel*.

## Results

Genotyping Hereford and Limousin bull calves revealed a high frequency of occurrence of the  $DGATI^{KK}$  genotype, which was 51.65% and 50.46%, being higher than that of  $DGATI^{KA}$  by 16.49% and 11.93%, and  $DGATI^{AA}$  by 38.46% and 39.45%, respectively. In general, bull calves of both studied breeds are characterized by the same frequencies of the  $DGATI^K$  and  $DGATI^A$  alleles.

The live weight dynamics of different genotype animals by the  $DGATI$  gene are shown in Fig. 1.

The analysis of the obtained data on the dynamics of the live weight of Hereford and Limousin animals shows that there is no effect of the  $DGATI$  gene polymorphism on the live weight indicators of calves at birth and eight, twelve, sixteen, and twenty months of age. There is a tendency of a certain increase in the bodyweight of animals in the direction of  $DGATI^{KK} \rightarrow DGATI^{KA} \rightarrow DGATI^{AA}$ .

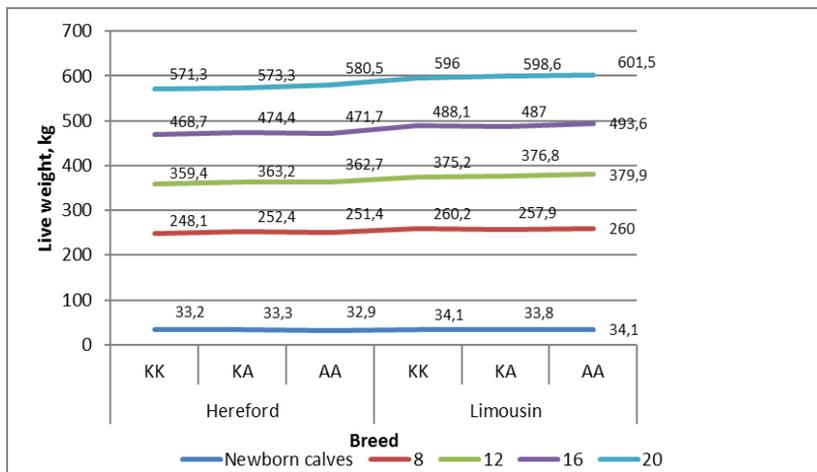


Fig. 1. Live weight dynamics of different genotype bull calves by the *DGATI* gene, kg.

With increasing age,  $DGATI^{KK} < DGATI^{AA}$  genotype Hereford bull calves showed a slight difference in live weight: 0.91% at the age of twelve months, 0.65% at sixteen months, and 1.58% at twenty months; Limousin animals had 1.25%, 1.13%, and 0.91%, respectively. It should be noted that the live weight results are within the standards for the Hereford and Limousin breeds.

Compared to Hereford cattle, Limousin animals had slightly higher live weight indicators in all age periods – by 3.37% at eight months, 4.11% at twelve months, 3.67% at sixteen months, and 3.95% at twenty months.

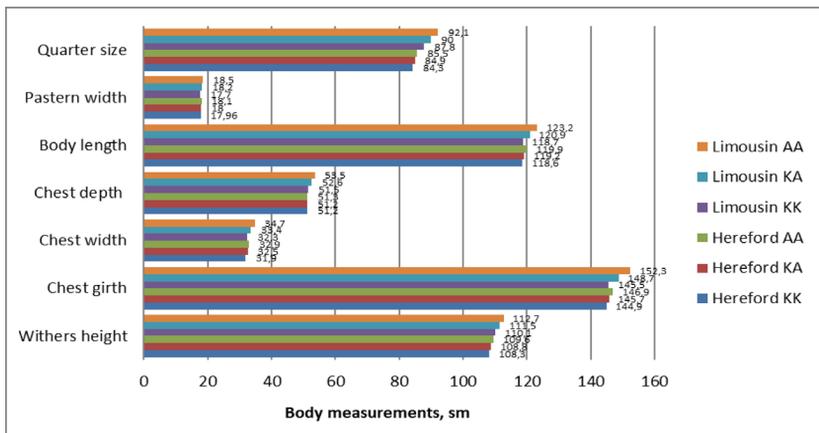
The average daily gain in live weight decreases with the increasing age of animals.  $DGATI^{AA}$  and  $DGATI^{KA}$  genotype Hereford bull calves showed the highest average daily gains for the entire growing period (912.7 g and 900.0 g, respectively). Limousin bulls of the identical genotypes had 945.7 g and 941.3 g of average daily weight gain.

The blood morphological composition of different genotype animals did not have significant differences and was within the reference limits of the physiological standards. Haemoglobin, red blood cells, and white blood cell contents at eight months were slightly higher than at twenty months, which is associated with age characteristics.  $DGATI^{AA}$  genotype bull calves of both breeds had a relatively higher level of red blood cells and hemoglobin.

The concentration of protein fractions was also within the range. The results show some age-related features. Thus,  $DGATI^{KK}$  genotype Hereford and

Limousin young bulls had a higher amount of total protein by an average of 11.47% and 12.04% by twenty months of age, *DGATI<sup>KA</sup>* genotype animals – by 12.07% and 10.12%, and *DGATI<sup>AA</sup>* genotype cattle – by 9.19% and 10.54%, respectively. *DGATI<sup>AA</sup>* genotype bull calves of both breeds had more albumins and  $\gamma$ -globulins at the age of eight months, with a higher level of gamma-globulins at twenty months of age. Hereford cattle showed a slight increase in the protein coefficient (albumin-globulin index).

Conformation measurements of different *DGATI* genotype bull calves are shown in Fig. 2 and 3.



**Fig. 2.** Conformation measurements of calves at the age of eight months.

The received confirmation measurements of Hereford and Limousin bull calves – withers height, chest girth, chest width, chest depth, oblique body length, pastern width, and quarter size – were within the age norms and norms of the breed standard. Bull calves of different genotypes did not have apparent dissimilarities between the indicators. However, *DGATI<sup>AA</sup>* genotype bull calves had slightly higher conformation measurements at the age of eight months and twenty months, which indicates a better body development in young animals and is confirmed by higher live weight indicators.

In the age aspect, Hereford bull calves had increased withers height by 15.48%, chest girth by 31.34%, chest width by 51.40%, chest depth by 43.47%, pastern width by 27.45%, oblique body length by 18.59%, and quarter size by 44.40%; those of Limousin cattle were higher by 15.90%, 33.47%, 50.83%, 43.94%, 27.04%, 16.73%, and 42.31%, respectively.

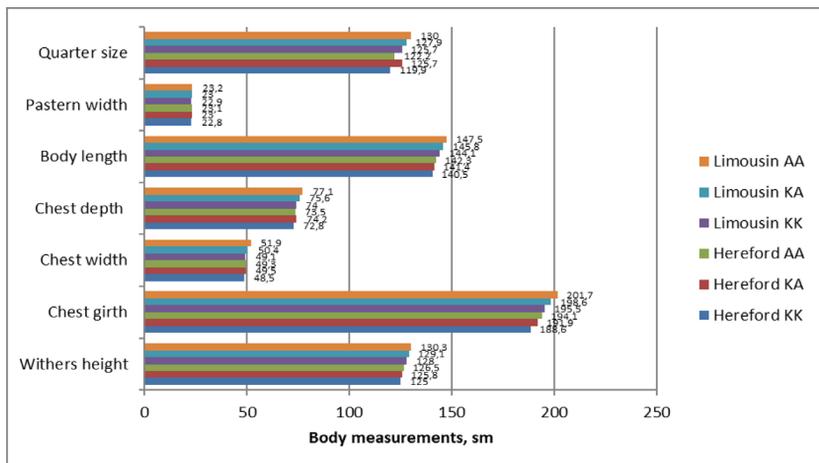


Fig. 3. Conformation measurements of calves at the age of twenty months.

Body-built indices of different genotype bull calves are given in Fig. 4 and 5.

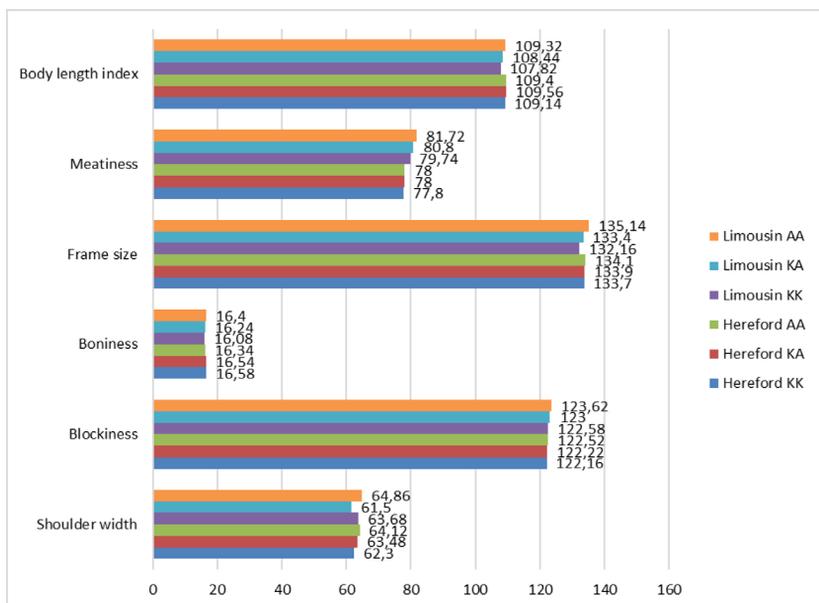


Fig. 4. Body-built indices of calves at the age of eight months.

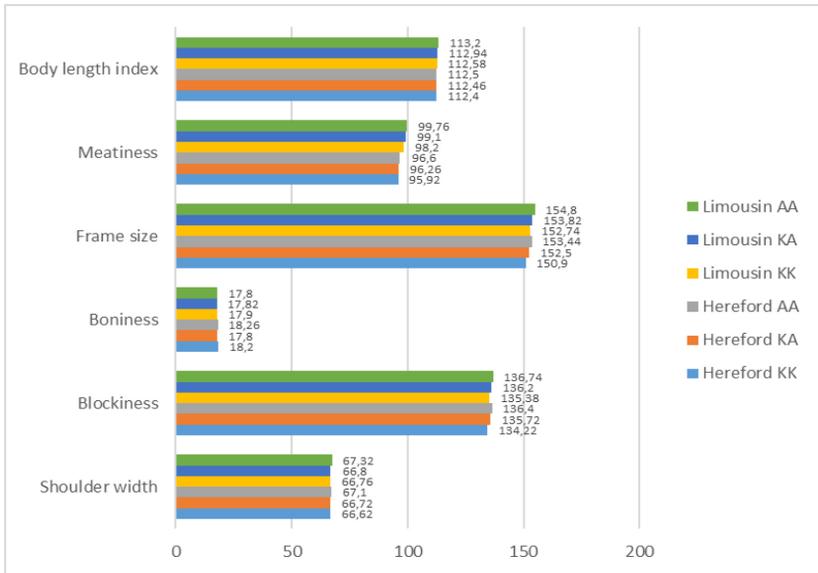


Fig. 5. Body-built indices of calves at the age of twenty months.

The increase of body-built indices, including those characterizing the development of meat quality indicators observed with age, demonstrates the harmonious development of the body parts of both breeds and confirms the distinct beef breed manifestation of young animals in all experimental groups.

In the context of genotypes, there is a tendency for a slight increase in meat productivity indices in the direction of  $DGATI^{KK} \rightarrow DGATI^{KA} \rightarrow DGATI^{AA}$ . At the age of eight months,  $DGATI^{AA}$  genotype Hereford and Limousin animals had a slight increase in shoulder width by 1.82% and 1.18%, frame size by 0.4% and 2.98%, and meatiness by 0.2% and 1.98%, respectively, compared with the young animals of the  $DGATI^{KK}$  genotype. At the age of twenty months, Hereford and Limousin bull calves had a similar difference: 0.48% and 0.56% in the shoulder width, 2.54% and 2.06% in the frame size, and 0.68% and 1.56% in meatiness, respectively. Young animals at the age of eight months were characterized by a more compact build, while at the age of twenty months, the body length index increased. This was especially noticeable in the cattle of the Limousin breed characterized by a long body. In general, the studied indicators allowed us to conclude the harmonious body development of both studied breeds.

Slaughter results of different *DGAT1* genotype bull calves are shown in Fig. 6 and 7.

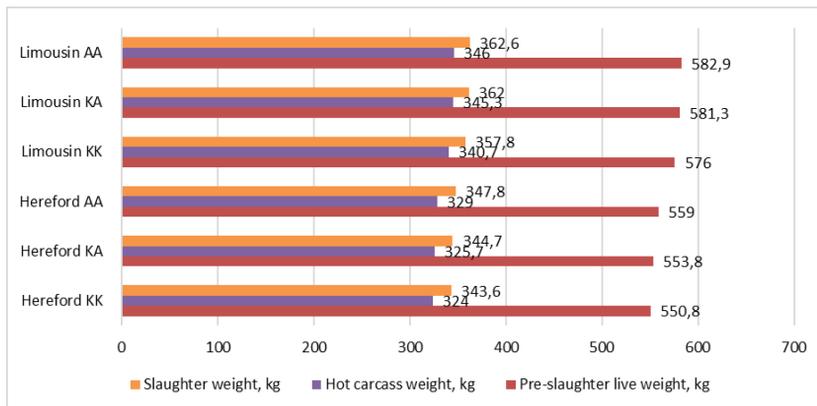


Fig. 6. Carcass quality indicators of different *DGAT1* gene genotype bull calves.

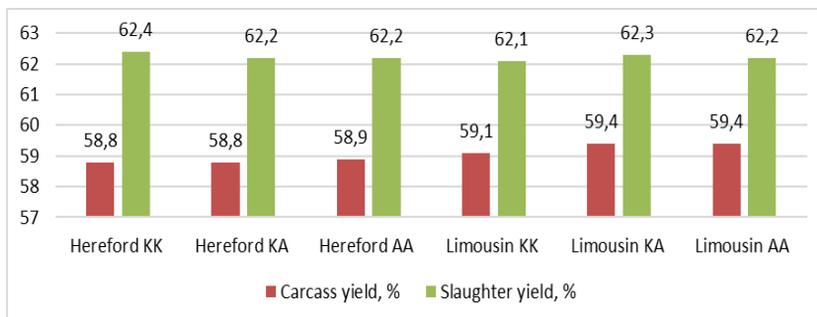


Fig. 7. Carcass and slaughter yield of different *DGAT1* gene genotype bull calves.

Carcass quality indicators of different *DGAT1* gene genotype bull calves demonstrate the absence of intergroup differences. There is a tendency to increase them somewhat  $DGAT1^{KK} \rightarrow DGAT1^{KA} \rightarrow DGAT1^{AA}$ . Indicators of pre-slaughter live weight in Hereford and Limousin cattle with the  $DGAT1^{AA}$  genotype are higher by 1.47% and 1.19% compared to animals with the  $DGAT1^{KK}$  genotype. In studying animal carcasses, the difference  $DGAT1^{AA} > DGAT1^{KK}$  is also observed, in the order of listing breeds, respectively: hot carcass weight by 1.52% and 1.53%, carcass yield by 0.01% and 0.30%, slaughter weight by 1.21% and 1.32%, and slaughter yield by 0.20%.

There is a clear association of the studied *DGATI* gene polymorphism with fat content in both breeds. Thus, there were significant differences ( $P < 0.05$ ) between the *DGATI<sup>KK</sup>* > *DGATI<sup>AA</sup>* genotypes in terms of the internal raw fat weight (19.6 kg and 18.75 kg in Herefords; 17.12 kg and 16.63 kg in Limousins) and fat yield (3.6% and 3.35%; 3.0% and 2.85%, respectively).

**Discussion.** The findings of genotyping Hereford and Limousin bull calves indicate a high *DGATI<sup>KK</sup>* genotype frequency of 50%–51% in both breeds. The heterozygous genotype is in second place in terms of frequency, and the smallest number of animals were of the homozygous genotype by the second allele. In general, bull calves of both studied breeds are characterized by the same frequencies of the *DGATI<sup>K</sup>* (0.64) and *DGATI<sup>A</sup>* (0.36) alleles. The observed frequencies of the *DGATI<sup>K</sup>* allele (0.64) are slightly lower than the findings of C. Avilés et al. [9] that have revealed allele frequencies in Spanish Limousins as follows: *DGATI<sup>K</sup>* (0.84) and *DGATI<sup>A</sup>* (0.18). There is evidence of the *DGATI<sup>KK</sup>* genotype absence in the Simmental bull calves [4] and the Kazakh white-headed animals [3].

The research did not prove associations of the studied polymorphism with growth and development indicators of bull calves. Hence, there were no significant inter-group differences in terms of live weight, average daily gains, absolute live weight gains, hematological values, conformation and body-built measurements, and body composition indices. The results of the control slaughter proved a strong association of the *DGATI* gene polymorphism in the bulls of both breeds with the fat content. The *DGATI<sup>K</sup>* genotype was associated with the internal raw fat weight and the fat yield. The findings of the given research are consistent with the results of J. L. Gill et al. [7], C. Avilés et al. [9], and A. Curi et al. [10], who indicated increased fat deposition in *DGATI<sup>KK</sup>* genotype bull calves. This dependence was not found in other studies [10; 13]. The obtained results go in line with D. Karolyi, who found that *DGATI<sup>AA</sup>* genotype bull calves exceeded *DGATI<sup>KA</sup>* animals in carcass weight by 2.09% [12].

**Conclusion.** Thus, in the conditions of the Republic of Bashkortostan, Hereford and Limousin beef cattle were genotyped by *SNP DGATI-K232A*. This gene polymorphism was studied in terms of its effect on the meat productivity of young animals in postnatal ontogenesis. As a result of genotyping, young animals of both breeds proved to have a similar distribution of genotypes (*DGATI<sup>KK</sup>* > *DGATI<sup>KA</sup>* > *DGATI<sup>AA</sup>*) and alleles (*DGATI<sup>K</sup>* > *DGATI<sup>A</sup>*). There was no effect of the studied gene polymorphism on growth, body development, and hematological parameters, as bull calves of different *DGATI* genotypes did not show a significant difference between weight and linear growth, blood morphological

parameters, the content of protein, its fractions, and carcass quality. *SNP DGAT1-K232A* was found to affect fat deposition. Thus, carcasses of both studied breeds of *DGAT1<sup>K</sup>* genotype had a significantly higher content of internal raw fat, and fat yield was ( $P < 0.05$ ) than carcasses of *DGAT1<sup>AA</sup>* genotype bull calves. Therefore, genotyping by *SNP DGAT1-K232A* can be used as an additional criterion to get meat with a higher energy value in selecting special-purpose beef cattle.

### References

1. Dubovskova M. P., Selionova M. I., Chizhova L. N., Surzhikova E. S., Gerasimov N. P., Mikhailenko A. K., Dolgashova M. A. *Geneticheskiye markery myasnoy produktivnosti CapN1, GH, TG5 i LEP pri otbore krupnykh bykov kanadskogo proiskhozhdeniya. V kn.: Rossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiyem «Fundamental'nyye osnovy tekhnologicheskogo razvitiya sel'skogo khozyaystva* [CapN1, GH, TG5, and LEP genetic markers of meat productivity in selecting large bulls of Canadian origin. In: Russian scientific-practical conference with international participation "fundamental basics of technological development of agriculture"]. Orenburg, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences, 2019, pp. 33-38.
2. Gizatullin R. S., Sedykh T. A. *Adaptivnaya resursosberegayushchaya tekhnologiya proizvodstva govyadiny* [Adaptive resource-saving technology of beef production]. Saarbrücken, Palmarium Academic Publishing, 2016, 119 p.
3. Soloshenko V. A., Goncharenko G. M., Dvoriatkin A. A., Pleshakov V. A. O vozmozhnosti ispol'zovaniya geneticheskikh markerov v selektsii myasnogo skota dlya uluchsheniya kachestva myasa [On the possibility of using genetic markers in the breeding of beef cattle to improve the quality of meat]. *Vestnik Myasnogo Skotovodstva* [Vestnik Miasnogo Skotovodstva], 2016, vol. 1, no. 79, pp. 27-30.
4. Gorlov I. F., Fedunin A. A., Randelin D. A., Sulimova G. E. Polimorfizmy genov bGH, RORC i DGAT1 u rossiyskikh myasnykh porod krupnogo rogatogo skota [Polymorphisms of bGH, RORC, and DGAT1 genes in Russian beef cattle breeds]. *Genetika* [Genetika], vol. 50, no. 12, pp. 1448-1454.
5. Amerkhanov Kh. A., Miroshnikov S. A., Kostiuk R. V., Dunin I. M., Legoshin G. P. Proyekt "Kontseptsiya ustoychivogo razvitiya myasnogo skotovodstva v Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda" [Project "concept of sustainable development of beef cattle breeding in the Russian Federation for the period up to 2030." *Vestnik Myasnogo Skotovodstva* [Vestnik Miasnogo Skotovodstva], vol. 1, no. 97, pp. 7-12.

6. Kalashnikova L. A., Khabibrakhmanova Ia. A., Pavlova I. Yu., Ganchenkova T. B., Dunin M. I., Pridanova O. E. *Rekomendatsii po genomnoy otsenke krupnogo rogatogo skota* [Recommendations for genomic evaluation of cattle]. Lesnye Polyany, VNIIPLEM, 2015, 33 p.
7. Dunin I. M., Tiapugin S. E., Meshcherov R. K., Khodykov V. P., Adzhibekov V. K., Tyapugin E. E., Dyuldina A. V. Sostoyaniye myasnogo skotovodstva v Rossiyskoy Federatsii: realii i perspektivy [The state of beef cattle breeding in the Russian Federation: Realities and prospects]. *Molochnoye i Myasnoye Skotovodstvo* [Molochnoe i Miasnoe Skotovodstvo], 2020, vol. 2, pp. 2-7.
8. Anton I., Kovács K., Holló G., Farkas V., Lehel L., Hajda Z., Zsolnai A. Effect of leptin, DGAT1 and TG gene polymorphisms on the intramuscular fat of Angus cattle in Hungary. *Livestock Science*, 2011, vol. 135, pp. 300-303. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.07.012>
9. Avilés C., Polvillo O., Peña F., Juárez M., Martínez A. L., Molina A. Associations between DGAT1, FABP4, LEP, RORC, and SCD1 gene polymorphisms and fat deposition in Spanish commercial beef. *Journal of Animal Science*, 2013, vol. 91, pp. 4571-4577. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6402>
10. Curi R. A., Chardulo L. A. L., Arrigoni M. D. B., Silveira A. C., de Oliveira H. N. Associations between LEP, DGAT1 and FABP4 gene polymorphisms and carcass and meat traits in Nelore and crossbred beef cattle. *Livestock Science*, 2011, vol. 135, pp. 244-250. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.07.013>
11. Gill J. L., Bishop S. C., McCorquodale C., Williams J. L., Wiener P. Association of selected SNP with carcass and taste panel assessed meat quality traits in a commercial population of Aberdeen Angus-sired beef cattle. *Genetics Selection Evolution*, 2009, vol. 41, no. 1. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19555501/>
12. Karolyi D., Cubri-Curik V., Salajpal K., Đikić M. The effect of sex and DGAT1 polymorphism on fat deposition traits in Simmental beef cattle. *Acta Veterinaria, (Beograd)*, 2012, vol. 62, no. 1, pp. 91-100. <https://doi.org/10.2298/AVB1201091K>
13. Moore S. S., Li C., Basarab J., Snelling W. M., Kneeland J., Murdoch B., Hansen C., Benkel B. Fine mapping of quantitative trait loci and assessment of positional candidate genes for backfat on bovine chromosome 14 in a commercial line of Bos Taurus. *Journal of Animal Science*, 2003, vol. 81, pp. 1919-1925. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12926773/>
14. Pannier L., Mullen A. M., Hamill R. M., Stapleton P. C., Sweeney T. Association analysis of single nucleotide polymorphisms in DGAT1, TG, and FABP4 genes and intramuscular fat in crossbred Bos taurus cattle. *Meat Sci*, 2010, vol. 85, no. 3. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20416823/>

15. Poznyakovskiy V. M., Gorlov I. F., Tikhonov S. L., Shelepov V.G. About the quality of meat with pse and dfd properties. *Foods and Raw Materials*, 2015, vol. 3, no. 1, pp. 104-110.
16. Sedykh T. A., Gladyr E. A., Gizatullin R. S., Gusev I. V., Dolmatova I. Yu., Kalashnikova L. A. GH and DGAT1 gene polymorphism effect on beef production traits of Hereford and Limousin bull calves. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological, and Chemical Sciences*, 2017, vol. 8, no. 1, pp. 1425-1435.
17. Sedykh T. A., Gladyr E. A., Harzinova V. R., Gizatullin R. S., Kalashnikova L. A. Effect of gene polymorphism of GH and DGAT1 on feeding quality steers. *Russian Agricultural Sciences*, 2017, vol. 43, no. 1, pp. 48-52.
18. Sørensen B. M., Furukawa-Stoffer T. L., Marshall K. S., Page E. K., Mir Z., Forster R. J., Weselake R. J. Storage lipid accumulation and acyltransferase action in developing flaxseed. *Lipids*, 2005, vol. 40, no. 10, pp. 1043-1049. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16382576/>
19. Winter A., Kramer W., Werner F. A., Kollers S., Kata S., Durstewitz G., Buitkamp J., Womack J. E., Thaller G., Fries R. Association of a lysine-232/alanine polymorphism in a bovine gene encoding acyl-CoA: Diacylglycerol acyltransferase (DGAT1) with variation at a quantitative trait locus for milk fat content. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2002, vol. 99, pp. 9300-9305. <https://doi.org/10.1073/pnas.142293799>
20. Wu X. X., Yang Z. P., Shi X. K., Li J. Y., Ji D. J., Mao Y. J., Chang L. L., Gao H. J. Association of SCD1 and DGAT1 SNPs with the intramuscular fat traits in Chinese Simmental cattle and their distribution in eight Chinese cattle breeds. *Molecular Biology Reports*, 2012, vol. 39, pp. 1065-1071. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21607624/>
21. Zinoveva N. A., Sermiagin A. A., Dotsev A. V., Boronetslaya O. I., Petrikeeva L.V., Abdelmanova A. S., Brem G. Animal genetic resources: Developing the research on the allele pool of Russian cattle breeds – Mini-review. *Selskokhoziaistvennaya Biologiya*, 2019, vol. 54, no. 4, pp. 631-641. URL: <http://www.agrobiology.ru/4-2019zinovieve-eng.html>

### Список литературы

1. Генетические маркеры мясной продуктивности CAPN1, GH, TG5, LEP в селекции крупных быков канадского происхождения // Дубовскова М. П., Селионова М. И., Чижова Л. Н., Суржикова Е. С., Герасимов Н. П., Михайленко А. К., Долгашова М. А. О.: Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 2019, 33-38 с.

2. Гизатуллин Р. С., Седых Т. А. Адаптивная ресурсосберегающая технология производства говядины в мясном скотоводстве. S.: Palmarium Academic Publishing, 2016, 119 с.
3. О возможности использования генетических маркеров в селекции мясного скота для повышения качественных показателей мяса / Солошенко В. А., Гончаренко Г. М., Дворяткин А. А., Плешаков В. А. // Вестник мясного скотоводства. 2013. Т. 1. № 79. С. 37-41.
4. Полиморфизм генов BGN, RORC и DGAT1 у мясных пород крупного рогатого скота России / Горлов И. Ф., Федюнин А. А., Ранделин Д. А., Сулимова Г. Е. // Генетика. 2014. Т. 50. № 12. С. 1448.
5. Проект “концепции устойчивого развития мясного скотоводства в Российской Федерации на период до 2030 года” / Амерханов Х. А., Мирошников С. А., Костюк Р. В., Дунин И. М., Легошин Г.П. // Вестник мясного скотоводства. 2017. Т. 1. № 97. С. 7-12.
6. Рекомендации по геномной оценке крупного рогатого скота / Калашникова Л. А., Хабибрахманова Я. А., Павлова И. Ю., Ганченкова Т. Б., Дунин М. И., Приданова И. Е. Л.: Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела, 2015, 33 с.
7. Состояние мясного скотоводства в Российской Федерации: реалии и перспективы / Дунин И. М., Тяпугин С. Е., Мещеров Р. К., Ходыков В. П., Аджигбеков В. К., Тяпугин Е. Е., Дюльдина А. В. // Молочное и мясное скотоводство. 2020. № 2. С. 2-7.
8. Anton I., Kovács K., Holló G., Farkas V., Lehel L., Hajda Z., Zsolnai A. Effect of leptin, DGAT1 and TG gene polymorphisms on the intramuscular fat of Angus cattle in Hungary // Livestock Science, 2011, vol. 135, pp. 300-303. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.07.012>
9. Avilés C., Polvillo O., Peña F., Juárez M., Martínez A. L., Molina A. Associations between DGAT1, FABP4, LEP, RORC, and SCD1 gene polymorphisms and fat deposition in Spanish commercial beef // Journal of Animal Science, 2013, vol. 91, pp. 4571-4577. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6402>
10. Curi R. A., Chardulo L. A. L., Arrigoni M. D. B., Silveira A. C., de Oliveira H. N. Associations between LEP, DGAT1 and FABP4 gene polymorphisms and carcass and meat traits in Nelore and crossbred beef cattle // Livestock Science, 2011, vol. 135, pp. 244-250. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.07.013>
11. Gill J. L., Bishop S. C., McCorquodale C., Williams J. L., Wiener P. Association of selected SNP with carcass and taste panel assessed meat quality traits in a commercial population of Aberdeen Angus-sired beef cattle // Genetics Selection Evolution, 2009, vol. 41, №. 1. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19555501/>

12. Karolyi D., Cubri-Curik V., Salajpal K., Đikić M. The effect of sex and DGAT1 polymorphism on fat deposition traits in Simmental beef cattle // *Acta Veterinaria*, (Beograd), 2012, vol. 62, no. 1, pp. 91-100. <https://doi.org/10.2298/AVB1201091K>
13. Moore S. S., Li C., Basarab J., Snelling W. M., Kneeland J., Murdoch B., Hansen C., Benkel B. Fine mapping of quantitative trait loci and assessment of positional candidate genes for backfat on bovine chromosome 14 in a commercial line of *Bos Taurus* // *Journal of Animal Science*, 2003, vol. 81, pp. 1919-1925. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12926773/>
14. Pannier L., Mullen A. M., Hamill R. M., Stapleton P. C., Sweeney T. Association analysis of single nucleotide polymorphisms in DGAT1, TG, and FABP4 genes and intramuscular fat in crossbred *Bos taurus* cattle // *Meat Sci*, 2010, vol. 85, no. 3. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20416823/>
15. Poznyakovskiy V. M., Gorlov I. F., Tikhonov S. L., Shelepov V.G. About the quality of meat with PSE and DFD properties // *Foods and Raw Materials*, 2015, vol. 3, no. 1, pp. 104-110.
16. Sedykh T. A., Gladyr E. A., Gizatullin R. S., Gusev I. V., Dolmatova I. Yu., Kalashnikova L. A. GH and DGAT1 gene polymorphism effect on beef production traits of Hereford and Limousin bull calves // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological, and Chemical Sciences*, 2017, vol. 8, no. 1, pp. 1425-1435.
17. Sedykh T. A., Gladyr E. A., Harzinova V. R., Gizatullin R. S., Kalashnikova L. A. Effect of gene polymorphism of GH and DGAT1 on feeding quality steers // *Russian Agricultural Sciences*, 2017, vol. 43, no. 1, pp. 48-52.
18. Sørensen B. M., Furukawa-Stoffer T. L., Marshall K. S., Page E. K., Mir Z., Forster R. J., Weselake R. J. Storage lipid accumulation and acyltransferase action in developing flaxseed // *Lipids*, 2005, vol. 40, no. 10, pp. 1043-1049. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16382576/>
19. Winter A., Kramer W., Werner F. A., Kollers S., Kata S., Durstewitz G., Buitkamp J., Womack J. E., Thaller G., Fries R. Association of a lysine-232/alanine polymorphism in a bovine gene encoding acyl-CoA: Diacylglycerol acyltransferase (DGAT1) with variation at a quantitative trait locus for milk fat content // *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2002, vol. 99, pp. 9300-9305. <https://doi.org/10.1073/pnas.142293799>
20. Wu X. X., Yang Z. P., Shi X. K., Li J. Y., Ji D. J., Mao Y. J., Chang L. L., Gao H. J. Association of SCD1 and DGAT1 SNPs with the intramuscular fat traits in Chinese Simmental cattle and their distribution in eight Chinese cattle breeds // *Molecular Biology Reports*, 2012, vol. 39, pp. 1065-1071. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21607624/>

21. Zinoveva N. A., Sermiagin A. A., Dotsev A. V., Boronetslaya O. I., Petrikeeva L.V., Abdelmanova A. S., Brem G. Animal genetic resources: Developing the research on the allele pool of Russian cattle breeds – Mini-review // Selskokhoziaistvennaia Biologiia, 2019, vol. 54, no. 4, pp. 631-641. URL: <http://www.agrobiology.ru/4-2019zinovieve-eng.html>

#### **AUTHOR CONTRIBUTIONS**

- Tatiana A. Sedykh**: conducting of the experiment, interpretation of the results, preparation of the text of the paper.
- Lubov A. Kalashnikova**: conducting of the experiment, interpretation of the results, preparation of the text of the paper.
- Irina Yu. Dolmatova**: conducting of the experiment, interpretation of the results, preparation of the text of the paper.
- Rinat S. Gizatullin**: conducting of the experiment, interpretation of the results, preparation of the text of the paper.
- Kosilov V.I.**: conducting of the experiment, interpretation of the results, preparation of the text of the paper.

#### **ВКЛАД АВТОРОВ**

- Седых Т.А.**: проведение эксперимента, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.
- Калашникова Л.А.**: проведение эксперимента, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.
- Долматова И.Ю.**: проведение эксперимента, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.
- Гизатуллин Р.С.**: проведение эксперимента, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.
- Vladimir I. Kosilov**: проведение эксперимента, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

#### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Tatiana A. Sedykh**

*Ufa Branch of the Russian Academy of Sciences, Bashkir State Agrarian Institute; Bashkir State Pedagogical Institute named after M. Akmulla 71, October Ave., Ufa, 450054, Russian Federation; 3a, Oktiabrskoi revolutsii Str., Ufa, 450008, Russian Federation*

*nio\_bsau@mail.ru*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5401-3179>*

**Lubov A. Kalashnikova**

*All-Russian Research Institute of Animal Breeding  
13, Lenina Str., Lesnye polyany, 141212, Russian Federation  
lakalashnikova@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9760-5254>*

**Irina Yu. Dolmatova**

*Bashkir State Agrarian University  
34, 50-letia Oktiabria Str., Ufa, 450000, Russian Federation  
dolmat@list.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6335-1460>*

**Rinat S. Gizatullin**

*Bashkir State Agrarian University  
34, 50-letia Oktiabria Str., Ufa, 450000, Russian Federation  
gizatullin1949@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4910-5383>*

**Vladimir I. Kosilov**

*Orenburg State Agrarian University  
18, Cheliuskintsev Str., Orenburg, 460014, Russian Federation  
kosilov\_vi@bk.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4754-1771>*

**ДАнные ОБ АВТОРАХ**

**Седых Татьяна А.**

*Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства; Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы  
просп. Октября, 71, г. Уфа, 450054, Российская Федерация; ул. Октябрьской революции, 3а, г. Уфа, 450008, Российская Федерация  
nio\_bsau@mail.ru*

**Калашникова Любовь А.**

*Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела  
ул. Ленина, 13, п. Лесные поляны, 141212, Российская Федерация  
lakalashnikova@mail.ru*

**Долматова Ирина Ю.**

*Башкирский государственный аграрный университет  
ул. 50-летия Октября, 34, г. Уфа, 450000, Российская Федерация  
dolmat@list.ru*

**Гизатуллин Ринат С.**

*Башкирский государственный аграрный университет  
ул. 50-летия Октября, 34, г. Уфа, 450000, Российская Федерация  
gizatullin1949@mail.ru*

**Косилов Владимир И.**

*Оренбургский аграрный университет  
ул. Челюскинцев, 18, г. Оренбург, 480014, Российская Федерация  
kosilov\_vi@bk.ru*

Поступила 06.04.2022

После рецензирования 29.04.2022

Принята 13.12.2022

Received 06.04.2022

Revised 29.04.2022

Accepted 13.12.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-175-196

УДК 636.3.082.25



Научная статья | Общее животноводство

## ПРОДУКТИВНЫЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОВЕЦ ПОРОДЫ РОССИЙСКИЙ МЯСНОЙ МЕРИНОС ПРИ РАЗНОМ ЛИНЕЙНОМ ПОДБОРЕ

*Е.Н. Чернобай, С.А. Олейник, О.Н. Онищенко,  
С.В. Литвинов, А.И. Суров*

*Разведение овец по линиям является сложной, но эффективной зоотехнической работой в чистопородном животноводстве. Линейные овцы устойчиво передают свои продуктивные особенности потомству и для того чтобы улучшить и выявить наиболее перспективные генотипы овец отличающиеся высокой продуктивностью и эффективностью выращивания, осуществляют межлинейный подбор, который в свою очередь позволяет выявить варианты спаривания линий в стаде и получение животных превосходящих по продуктивности родительские формы, что является актуальным в настоящее время.*

*Основной целью работы являлось, выявить наиболее эффективные варианты при внутри- и межлинейном подборе овец породы российский мясной меринос.*

*В задачу исследований входило: изучить у животных различного происхождения рост и телосложение, клинические показатели животных, живую массу в разные возрастные периоды, убойные и мясные качества.*

*Установлено, что молодой полученный при спаривании между собой животных линий ВК-40 и МЕ-50 имеет более пропорциональные формы телосложения, лучшие убойные и мясные качества. Прирост живой массы ягнят, полученных при спаривании маток линии ВК-40 и баранов линии МЕ-50 (III группа), был более интенсивнее, чем у их сверстниц от внутрилинейного подбора линии ВК-40 (I группа) и межлинейного подбора маток линии АС-30 с баранами линии МЕ-50 (II группа). Самые тяжелые туши были у ягнят, полученных от спаривания маток линии ВК-40 и баранов линии МЕ-50 (13,26 кг), масса туши была больше, по сравнению с аналогичным показателем сверстниц I и II группы соответственно на 7,7 % и 4,0 %, по массе внутреннего жира – на 21,8 % и 9,8 %, по убойной массе – 8,3 % и 4,3 %.*

**Ключевые слова:** овцеводство; порода российский мясной меринос; линии; экстерьер; живая масса; убойные качества

**Для цитирования.** Чернобай Е.Н., Олейник С.А., Онищенко О.Н., Литвинов С.В., Сузов А.И. Продуктивные и биологические особенности овец породы российский мясной меринос при разном линейном подборе // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №3. С. 175-196. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-175-196

Original article | Animal Husbandry

## PRODUCTIVE AND BIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF RUSSIAN MEAT MERINOS SHEEP WITH DIFFERENT LINEAR SELECTION

*E.N. Chernobai, S.A. Oleinik, O.N. Onishchenko,  
S.V. Litvinov, A.I. Surov*

*Line breeding is a difficult but effective zootechnical process in purebred sheep husbandry. Linear sheep consistently transmit their characteristics to offspring in order to increase and identify the most promising genotypes, characterized by high productivity and breeding efficiency, by detecting interline selection. The main purpose of the work was to identify the most suitable options for intra- and interline selection of the Russian meat merino breed. The article studies the early development of animals' growth and physique, the high rates of animals, live weight in different age periods, slaughter and meat qualities. We established that young animals obtained by mating between the animal lines VK-40 and ME-50 were characterized by more proportional body shapes, better slaughter and meat qualities. The increase in live weight of lambs obtained by mating queens of the VK-40 line and rams of the ME-50 line (group III) was more intense than their peers from the intraline selection of the VK-40 line (I group) and of queens of the line AC-30 with ME-50 rams (group II). The heaviest carcasses were in lambs obtained from the mating of queens of the VK-40 line and rams of the ME-50 line (13.26 kg), the weight of the carcass was greater, compared with the same indicator of the peers of groups I and II, respectively, by 7.7% and 4.0%, by internal fat mass – by 21.8% and 9.8%, by slaughter weight – by 8.3% and 4.3%.*

**Keywords:** sheep breeding; breed Russian meat merino; lines; exterior; live weight; slaughter qualities

**For citation.** Chernobai E.N., Oleinik S.A., Onishchenko O.N., Litvinov S.V., Surov A.I. Productive and Biological Characteristics of Russian Meat Merinos Sheep with Different Linear Selection. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 175-196. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-175-196

## **Введение**

Весьма ценные качества овец, по сравнению с другими видами животных, – это их универсальный характер, обусловленный большим разнообразием получаемых продуктов и наличием значительного количества пород, для которых характерны свои, во многом неповторяемые, продуктивные способности. Использование больших потенциальных возможностей овцеводства позволит в значительной мере содействовать накоплению запасов продовольствия и сырья для получения промышленных изделий. Многолетней практикой передовых хозяйств различных зон нашей страны доказано, что решение данной задачи можно за счет применения приоритетных селекционных методов в отрасли, рационального использования генетического потенциала животных [1, 7, 14]. Эффективное разведение овец может быть за счет разведения животных по линиям [10]. Линейное разведение – это сохранение в стаде выдающихся генотипов, отличающихся своей индивидуальностью, своими определенными качественными и количественными характеристиками, особенно это важно в чистопородном овцеводстве. Также сообщается, что от кроссирования линий, т. е. от спаривания животных одной линии с животными другой линии, можно получить более жизнеспособное и высокопродуктивное потомство в сравнении с исходными родительскими формами. В этом случае, выявляются лучшие сочетания между собой линий [15, 19].

Поэтому, целью работы являлось изучить рост и развитие, убойные качества потомства, полученного от внутри- и межлинейного подбора.

Новизна исследований. Впервые в условиях Юга России проведены исследования по выявлению наиболее продуктивных животных от внутри- и межлинейного подбора линий АС-30, ВК-40, МЕ-50. Установлено, что потомки, родившиеся от спаривания маток линии ВК-40 и баранов линии МЕ-50 отличались лучшими ростом и развитием, убойными характеристиками, в отличие от сверстниц от внутрилинейного подбора линии ВК-40 и межлинейного подбора линий АС-30 и МЕ-50.

### Материал и методика исследований

Исследования проводились в СХА (колхозе) «Родина» Апанасенковского района, Ставропольского края, Российской Федерации в период с 2021 по 2022 гг. Материалом исследований послужили овцы породы российский мясной меринос разной линейной принадлежности.

Для эксперимента были сформированы 3 группы животных, I группа – животные линии ВК-40 (с высоким выходом мытой шерсти), II группа – животные, полученные при спаривании маток линии АС-30 (очень тонкая шерсть) и баранов линии МЕ-50 (высокой живой массой), III группа – животные, полученные при спаривании маток линии ВК-40 и баранов-производителей линии МЕ-50.

Для сравнения продуктивных, клинических и откормочных качеств молодняка овец линейной принадлежности и кросслинейных животных породы российский мясной меринос, проведено спаривание животных по схеме опыта (табл. 1).

Таблица 1.

Схема спаривания линий животных

Группа	Порода и линии баранов-производителей	п	Порода и линии маток	п
I	РММ (линия ВК-40)	2	РММ (линия ВК-40)	40
II	РММ (линия МЕ-50)	2	РММ (линия АС-30)	40
III	РММ (линия МЕ-50)	2	РММ (линия ВК-40)	40

Примечание: РММ – российский мясной меринос

В процессе исследований изучались следующие показатели:

- промеры экстерьера и индексы телосложения изучались по методике В.Ф. Красоты, В.Т. Лобанова, Г.П. Джапаридзе [4]. У ярок при рождении и в 4,5 месячном возрасте, брались промеры (высота в холке, косая длина туловища, обхват груди, обхват пясти) и вычислялись индексы телосложения (растянутости, сбитости, костистости и массивности).

- клинические показатели животных в различные возрастные периоды, при этом используя общепринятые методы анализа В.И. Агафонова, С.Н. Аитова, М.Д. Аитовой и др. [8]. Частоту пульса измеряли числом ударов в минуту - по бедренной артерии, частоту дыхания – по движению грудной клетки, температуру тела – ректально.

- сохранность ягнят в каждой опытной группе определяли путем установления количества павших животных по тем или иным причинам от общего количества полученных ягнят.

- изучение живой массы подопытных животных осуществлялось путем взвешивания их при рождении, в 21-дневном возрасте, при отбивке ягнят от маток в 4,5 месячном возрасте с точностью до 0,1 кг, перед убоем. По данным прироста живой массы определялся среднесуточный прирост.
- контрольный убой проводился согласно методическим рекомендациям СНИИЖК [5]. При этом учитывали - предубойную живую массу, массу туши, массу внутреннего жира, убойную массу, убойный выход, массу внутренних органов, массу вытекшей крови. Мясную продуктивность изучали по методике ГОСТ 7596-81 «Мясо разделка баранины и козлятины для розничной торговли» [2].
- скороспелость ягнят устанавливали по скорости прироста массы тела от рождения до 4,5 месяцев. Показателями скороспелости являются среднесуточные приросты живой массы и абсолютные приросты по периодам до 4,5 месячного возраста.
- учитывали количество заданных кормов и их остатков по заданным видам корма в период откорма. Для оплаты корма приростом молодняк взвешивался в начале и конце опыта. Общее количество затраченных на группу кормовых единиц и переваримого протеина делили на полученный общий привес и таким образом устанавливали затраты кормов на 1 кг прироста.

Полученный материал обрабатывался методом вариационной статистики с определением основных констант вариационного ряда по Н.А. Плохинскому [6].

### **Результаты исследования и их обсуждение**

В данном разделе представлены результаты исследований по следующим разделам: кормление и содержание животных, рост и развитие животных, клинические показатели и сохранность ягнят, прирост живой массы ягнят, убойные и мясные качества ягнят

#### *Кормление и содержание животных*

В период проведения исследований режим содержания животных был следующим: в благоприятную погоду стойлового периода до ягнения матки находились круглосуточно в базу на глубокой соломенной подстилке; после ягнения – в овчарне, в течение 10 дней, в последующем – днем в базу, ночью – в овчарне с ягнятами. При содержании маток и выращивании ягнят использовался кошарно-базовый метод.

Основу кормовых рационов в СХА (колхоз) Родина Апанасенковского района Ставропольского края составляют растительные корма. В кормовом балансе зеленая растительность и продукты ее переработки (сено, сенаж, солома, силос) занимают подавляющую часть кормов, используемых в овцеводстве. На концентраты приходится лишь 10-15 % всех кормовых средств.

При полноценном кормлении в стойловый период повышается упитанность суягных маток, увеличивается их молочность после ягнения, улучшается рост и развитие ягнят [3].

Кормлению суягных овцематок в хозяйстве уделяется особое внимание, зная, что в последние три месяца суягности потребность в азоте увеличивается на 20-25%, уровень переваримого протеина следует повысить до 140-150 г. А минеральные вещества в расчете на одну голову: Са-7-8 г., Р - 3 г.; и не менее 30 мг. каротина. Исходя из этой потребности, рацион суягных маток следующий (табл. 2).

Таблица 2.

**Рацион кормления суягных маток, живой массой 60 кг**

Показатель	Первый период суягности					Второй период суягности				
	задано, кг.	К.ед., кг	Пер. пр., г.	Са, г.	Р, г.	задано, кг.	К.ед., кг	Пер. пр., г.	Са, г.	Р, г.
Корма										
Сено разнотравное	0,3	0,15	19	1,7	0,7	0,3	0,15	19	1,7	1,7
Сено многолетних трав	0,4	0,2	46	10	1,0	0,5	0,25	58	8,8	1,1
Силос кукурузный	3,0	0,6	42	4,5	1,5	3,0	0,6	42	4,5	1,5
Концентрированные корма	0,3	0,3	24	0,3	1,0	0,35	0,35	28	0,4	1,2
<i>Итого</i>	4,0	1,25	131	16,5	4,2	4,15	1,35	147	15,4	5,5

Как видно из таблицы, рацион маток в суягный период по общей питательности составил 1,3 корм. ед, 147 г переваримого протеина; во второй период суягности количественный и качественный уровень показателей кормового рациона возрос, это объясняется увеличением потребности в питательных веществах в этот период времени.

В пастбищный период матки с молодняком выпасались на естественном пастбище. Молодняк до 4,5 месячного возраста содержался с матками в одной отаре.

В период подсоса основные питательные вещества кормов идут на производство, прежде всего, молока для кормления ягнят, а затем на поддер-

жание жизненного тонуса овцематки. Также стоит учитывать их молочную продуктивность – единцовость, двойневость или тройневость. Совершенно очевидно, что потребность в питательных веществах, тем выше, чем больше ягнят.

Ягнята в подсосный период с 2-х недельного возраста получали около 50 концкормов в сутки, после стрижки и отъема их от маток, нагуливались на естественных пастбищах, получая дополнительную подкормку – по 150 г концентратов (ячмень) на одну голову в сутки.

Сами ягнята с молоком матери не получают полноценного питания, которое требуется для нормального роста и развития, поэтому уже с первых месяцев жизни их начинают приучать к грубым и концентрированным кормам: сену, отрубям, дробленому ячменю, овсу.

В первый месяц жизни ягненку дают 10-20 г. концентрированных кормов в сутки, в двухмесячном возрасте – 30-50 г., в трехмесячном – 70-100 г., а в четырехмесячном – до 200 г.

К четырехмесячному возрасту ягнята должны достигать 45-50% живой массы взрослой особи, а к полуторагодовалому – 75-80%. Для полноценного развития и роста, молодняк должен получать в достаточном количестве питательные и минеральные вещества (табл. 3).

Таблица 3.

**Потребность ягнят в питательных и минеральных веществах**

Возраст	К. ед., кг	Пер. пр., г	Са, г	Р, г
До одного месяца	0,40	60	3,2	2,9
От одного до двух месяцев	0,55	70	3,6	3,2
От двух до четырех месяцев	0,65	80	4,0	3,6

Таблица отражает потребность далеко не всех, но самых важных компонентов питания. Так, например, кальций и фосфор активно участвуют в организме во всех процессах, особенно в образовании и наращивании костной ткани, переваримый протеин служит источником строительного материала для белка.

До отъема ягнят от матери степень использования питательных веществ молодняком достигает 70%. При исключении молока из рациона этот показатель снижается до 50%.

Период отъема ягнят приходится на жаркий отрезок времени с резким сокращением зеленой травы. Поэтому в хозяйстве для молодняка выделяют самые лучшие зеленые пастбища. Этого надо придерживаться еще и потому, что у молодых животных к этому времени, не совсем сформи-

ровался жевательный аппарат, а переход от пастбищного содержания к стойловому осуществляется постепенно. Для этого на предприятии к концу пастбищного периода проводят приучение молодняка к поеданию сена и силоса. Рацион составляют в соответствии с нормами кормления в этот период времени, которые представлены в таблице 4.

Таблица 4.

**Норма кормления молодняка овец после отъема**

Возраст	К. ед., кг	Пер. пр., г.	Са, г.	Р, г.
4 – 6 месяцев	0,75	90	4,5	3,0
6 – 8 месяцев	0,85	100	5,0	3,4
8 -12 месяцев	1,00	110	6,2	4,0

Из таблицы можно сделать вывод, что к достижению годовалого возраста, молодняку требуется практически одинаковое количество основных питательных и минеральных веществ, что и для взрослых особей.

*Рост и развитие животных*

Изучение экстерьера является важным фенотипическим показателем с целью дальнейшей селекции животных в стаде особенно в овцеводстве. Экстерьер животных определяет направленность продуктивности животного и особенности породы. При выявлении желательного типа овец особенно делается упор на экстерьерные особенности животного. Также, сохранность и выживаемость животных в определенных условиях среды обитания тесно связаны с экстерьером животного [9]. Каждая популяция животных характеризуется своей особенностью отличия от другой популяции, которая в определенных условиях среды обитания проявляют лучшие свои продуктивные качества и тем самым лучше раскрывает свой генетический потенциал. А формы телосложения имеют непосредственную связь с интерьером животного и его продуктивностью [7, 17]. Поэтому, изучение роста и развития животных в постэмбриональный период является важным элементом в селекции животных. С этой целью нами были изучены промеры животных и индексы телосложения, чтобы выявить какие животные отличаются более выраженными мясными формами (табл. 5).

Анализ таблицы 4 показал, что животные III группы отличаются лучшими показателями экстерьера как при рождении, так и в 4,5 месячном возрасте. Так, при рождении животные III группы превосходили сверстниц I и II групп по косой длине туловища на 5,4 % ( $P < 0,01$ ) и 1,5 % ( $P > 0,05$ ), обхвату груди соответственно на 8,4 % ( $P < 0,001$ ) и 1,9 % ( $P > 0,05$ ). По вы-

соте в холке превосходство было у животных II группы по сравнению со сверстниками I и III группами соответственно на 2,8 % и 0,6 % но разница в обоих случаях была не достоверной. Также животные II и III группах по обхвату пясти имели одинаковый и лучший показатель 6,4 см, в тоже время как у животных I группы данный показатель составил 6,3 см.

Таблица 5.

## Основные промеры исследуемых ягнят

Наименование промера	Группа					
	I (линия ВК-40)		II (♀ линия АС-30 × ♂ линия МЕ-50)		III (♀ линия ВК-40 × ♂ линия МЕ-50)	
	Взятие промеров у ягнят в возрасте, мес.					
	При рождении	4,5	При рождении	4,5	При рождении	4,5
Высота в холке	31,9 ±0,35	51,5 ±0,44	32,8 ±0,31	52,8 ±0,48	32,6 ±0,29	53,6 ±0,47
Косая длина туловища	31,3 ±0,32	52,5 ±0,51	32,5 ±0,29	53,5 ±0,53	33,0 ±0,35	54,0 ±0,50
Обхват груди	39,3 ±0,40	67,0 ±0,78	41,8 ±0,42	69,5 ±0,64	42,6 ±0,39	71,6 ±0,71
Обхват пясти	6,3 ±0,13	8,5 ±0,17	6,4 ±0,11	8,7 ±0,18	6,4 ±0,11	8,7 ±0,17

При отбивке наблюдалась такая же тенденция превосходства ярок III группы по промерам телосложения, над сверстниками других групп. Так, по высоте в холке животные III группы превосходили сверстниц I и II группах соответственно на 4,1 % ( $P < 0,01$ ) и 1,5 % ( $P > 0,05$ ), по косой длине туловища превосходство составило 2,9 % и 0,9 % при недостоверной разнице и обхвату груди – на 6,9 % ( $P < 0,01$ ) и 3,0 % ( $P < 0,05$ ).

Для более точной характеристики телосложения подопытных животных применяют метод индексной оценки, которые показывают отношение между собой отдельных промеров и которые тесно связаны с конституциональными особенностями животных (табл. 6).

Анализируя индексы телосложения подопытных ягнят (табл. 6), необходимо отметить, что молодняк III группы полученный от спаривания животных линий ВК-40 и МЕ-50 превосходит сравниваемых сверстников I и II группах по индексу сбитости и массивности. Так, по индексу сбитости превосходство составило при рождении соответственно на 3,5 и 0,5 абс. процентов, массивности – 7,5 и 3,3 абс. процентов. В 4,5 месячном возрасте превосходство ярок III группы над сверстниками по индексу сби-

тости составило 5,0 и 2,7 абс. процентов, по массивности – 3,5 и 2,0 абс. процентов.

Таблица 6.

**Индексы телосложения исследуемых ягнят**

Наименование индекса	Группа					
	I (линия ВК-40)		II (♀ линия АС-30 × ♂ линия МЕ-50)		III (♀ линия ВК-40 × ♂ линия МЕ-50)	
	Взятие промеров у ягнят в возрасте, мес.					
	При рождении	4,5	При рождении	4,5	При рождении	4,5
Растянутости	98,1	101,0	99,1	101,3	101,2	100,7
Сбитости	125,6	127,6	128,6	129,9	129,1	132,6
Костистости	19,7	16,5	19,5	16,5	19,6	16,2
Массивности	123,2	130,1	127,4	131,6	130,7	133,6

Таким образом, молодняк полученный при спаривании между собой животных линий ВК-40 и МЕ-50 имеет более пропорциональные формы телосложения, что отвечает мясному направлению овец.

Наши исследования подтверждаются результатами работ Т.Э. Щугоровой [11], Ю.А. Колосова, А.С. Дегтярь, Т.С. Романец [12], которые отмечали, что при спаривании тонкорунных овец с овцами мясо-шерстного направления улучшаются мясные формы помесных животных, отличающимися большими значениями индексов сбитости и массивности.

#### *Клинические показатели и сохранность ягнят*

При проведении научно-хозяйственного эксперимента изучались клинические показатели здоровья ягнят в стойловый и пастбищный период: температура тела, число дыханий и частота пульса животных (табл. 7).

Анализ данных таблицы 7 показывает, что по клиническим показателям нет существенной разницы между сравниваемыми группами животных, а также в зависимости от периода содержания (стойловый, пастбищный).

Температура тела, частота дыхания и пульса были в пределах физиологической нормы и не различались по группам во все периоды исследований, а только колебались в связи с изменением условий окружающей среды. Но стоит отметить, что животные II и III группах полученные от межлинейного подбора родителей имели несколько выше температуру тела по сравнению с животными от внутрелинейного подбора I группы, как при стойловом, так и при пастбищном содержании. А частота пульса и

дыхания у животных от межлинейного подбора II и III группах уменьшались по сравнению с животными I группы, полученных от внутрилинейного подбора, что связываем, с более крупной величиной этих животных.

Таблица 7.

**Клинические показатели ягнят**

Показатель	Группа					
	I		II		III	
	период					
	стойло- вый	пастбищ- ный	стойло- вый	пастбищ- ный	стойло- вый	пастбищ- ный
Температура тела, °С	39,3±0,09	39,5±0,04	39,4±0,08	39,7±0,05	39,4±0,07	39,8±0,06
Частота дыхания, мин.	43,7±0,55	58,0±0,67	41,0±0,59	56,3±0,73	40,4±0,61	55,6±0,70
Частота пульса, мин.	96,8±0,87	118,7±1,64	95,4±0,85	112,0±1,42	94,6±0,85	110,1±1,35

Необходимость проведения клинических исследований обусловлено подтверждением того факта, что данный эксперимент проводился на животных здоровых в клиническом отношении, а полученные результаты являются достоверными и отвечают физиологическим нормам для данного вида и возраста животных, а также условий окружающей среды.

При изучении воспроизводительных способностей маток (табл. 8), установлено, что обьягнилось маток в пределах групп от 87,5% в I группе, до 95% в III группе.

Таблица 8.

**Сохранность подопытных ягнят**

Показатель		Группа		
		I	II	III
Количество ягнят всего, голов		45	48	51
Отход ягнят по причине, голов	заболевания органов дыхания	2	1	-
	заболевание органов пищеварения	2	2	2
	отравления	-	-	-
	травматизма	-	-	-
Сохранность, %		91,1	93,8	96,1

Получено ягнят в пределах опытных групп от 45 до 51 голов. Отход ягнят в связи с разными причинами, заболеваниями органов дыхания и

органов пищеварения в пределах групп составило от 3,9 % в III группе, до 8,9 % в I группе. Таким образом, лучшей сохранностью ягнят в опытных группах от рождения до отбивки отличались животные III группы (96,1%), что выше, по сравнению со сверстницами I и II группами соответственно на 5,0 и 2,3 абс. процентов.

Лучшую сохранность животных связываем с их живой массой при рождении, у ягнят, полученных от межлинейного подбора живая масса при рождении была больше.

Наши исследования подтверждаются результатами исследований А.Ч. Гаглоева, В.Г. Завьяловой, Е.С. Хамхоевой, В.А. Попова [1], которые утверждают, что при совершенствовании метода разведения животных, а именно при скрещивании маток породы прекос с баранами кутумской породы повышается процент сохранности полученного молодняка на 4,7 абс. процентов.

#### *Прирост живой массы ягнят*

Наиболее важный хозяйственно-экономический показатель в овцеводстве – живая масса животных. Животные с более высокой живой массой отличаются лучшей сохранностью и приспособленностью, развитием внутренних органов, высокой энергией роста и обменными процессами в организме [14, 19].

Результаты изучения живой массы подопытных животных, полученных от внутри- и межлинейного подбора представлены в таблице 9.

*Таблица 9.*

#### **Показатели прироста живой массы ярок**

Показатели	Группа		
	I	II	III
Живая масса ягнят в возрасте, кг:			
при рождении	4,20±0,05	4,23±0,06	4,35±0,06
21 суток	8,2±0,13	8,5±0,09	8,8±0,15
4,5 месяца	24,5±0,35	25,4±0,41	26,0±0,37
Прирост живой массы за 4,5 месяца:			
абсолютный, кг	20,3	21,17	21,65
среднесуточный, г	150,4	156,8	160,4

Анализ таблицы показывает, что живая масса ягнят III группы, полученных от спаривания животных линий ВК-40 и МЕ-50 была больше, чем у сверстниц I и II группами соответственно на 3,6 % и 2,8 % при недо-

стоверной разнице ( $P>0,05$ ) в обоих случаях. В 21 дневном возрасте эта разница увеличилась и составила соответственно на 7,3 % ( $P<0,01$ ) и 3,5 % ( $P>0,05$ ), а в 4,5 месячном возрасте соответственно – на 6,1 % ( $P<0,01$ ) и 2,4 % ( $P>0,05$ ).

Таким образом, прирост живой массы ягнят полученных от спаривания линий животных между собой ВК-40 и МЕ-50 был более интенсивнее, чем у их сверстниц от внутрилинейного подбора линии ВК-40 (I группа) и межлинейного подбора маток линии АС-30 с баранами линии МЕ-50 (II группа). В свою очередь, животные II группы от межлинейного подбора маток линии АС-30 с баранами линии МЕ-50 превосходили по живой массе сверстниц I группы во все возрастные периоды, но при недостоверной разнице ( $P>0,05$ ).

#### *Убойные и мясные качества ягнят*

Чтобы изучить мясную продуктивность молодняка подопытных животных разного происхождения проводили контрольный убой животных в возрасте 6,0 месяцев. Для убоя с каждой группы были отобраны по 3 головы типичных животных и по средней живой массе соответствовали характеристикам своей группы. После голодной выдержки, согласно методическим рекомендациям СНИИЖК [5] изучались основные показатели мясной продуктивности. Данные представлены в таблице 10.

*Таблица 10.*

#### **Результаты контрольного убоя исследуемого молодняка**

Показатель	Группа		
	I (линия ВК-40)	II (♀ линия АС-30 × ♂ линия МЕ-50)	III (♀ линия ВК-40 × ♂ линия МЕ-50)
Живая масса до голодной выдержки в 6 мес. возрасте, кг	31,3	32,3	33,2
Живая масса предубойная, кг	29,8±0,12	30,6±0,20	31,3±0,23
- туши, кг	12,31±0,18	12,75±0,21	13,26±0,15
- внутреннего жира, кг	0,55±0,01	0,61±0,02	0,67±0,02
Убойная масса, кг	12,86±0,19	13,36±0,21	13,93±0,17
Убойный выход, %	43,15	43,66	44,50
Внутреннего жира, %	1,8	2,0	2,1

Ягнота III группы превосходят по всем показателям сверстниц I и II группы. Самые тяжелые туши были у ягнят, полученных от спаривания

маток линии ВК-40 и баранов линии МЕ-50 (13,26 кг), масса туши была больше, по сравнению с аналогичным показателем сверстниц I и II группы соответственно на 7,7 % ( $P<0,01$ ) и 4,0 % ( $P>0,05$ ), по массе внутреннего жира – на 21,8 % ( $P<0,001$ ) и 9,8 % ( $P>0,05$ ), по убойной массе – 8,3 % ( $P<0,01$ ) и 4,3 % ( $P>0,05$ ).

Одним из самых важных показателей мясных качеств является убойный выход [10]. Наибольший процент выхода мяса (44,50) был у ягнят III группы. Он был выше, чем у сверстниц соответственно на 1,35 и 0,84 абс. процентов.

Результаты исследований химического состава мякоти туш ярков разного линейного происхождения и подбора представлены в таблице 11.

Таблица 11.

**Химический состав мякоти туш в зависимости от линейного подбора**

Показатели	Группа		
	I	II	III
Количество, гол.	3	3	3
Влага, %	68,70±0,35	67,98±0,23	67,54±0,20
Жир, %	10,60±0,19	11,05±0,23	11,31±0,21
Белок, %	19,74±0,23	19,86±0,20	19,92±0,27
Зола, %	0,96±0,09	1,11±0,09	1,23±0,10
Калорийность 1 кг мякоти, ккал	1995,9	2057,3	2119,5

Химический состав мякоти также свидетельствует о высоком качестве полученной баранины от овец III группы, что обусловлено, в первую очередь, их генетическими особенностями. Так, при меньшем содержании воды в мякоти по сравнению со сверстницами I и II группами соответственно на 1,16 и 0,44 абс. процентов, содержание жира, протеина и золы у них было больше. Так, по содержанию жира, больше соответственно на 0,71 и 0,26 абс. процентов, белка – на 0,18 и 0,06 абс. процентов, золы – 0,27 и 0,12 абс. процентов. Самой высокой энергетической ценностью отличались животные III группы (2119,5 Ккал) и превосходство над сверстницами I и II группами составило на 6,2 % и 3,0 %.

Ценность туши в значительной степени определяется сортовым и морфологическим ее составом [15, 18]. После охлаждения был проведен сортовой разруб всех туш согласно ГОСТу 7596-81 «Мясо разделка баранины и козлятины для розничной торговли». Анализ полученных данных приведен в таблице.

Таблица 12.

**Сортовой и морфологический состав туш ягнят**

Группа	Выход, %		
	мякоть	кости и сухожилия	Коэффициент мясности
I	73,9	26,1	2,83
II	74,1	25,9	2,86
III	75,4	24,6	3,06

Морфологический состав туши определялся путем обвалки отдельных отрубов. Одним из показателей качественной характеристики мясной продуктивности овец служит коэффициент мясности, указывающий на степень упитанности овец и выполненность мясных форм [13, 16].

Установлено, что у животных III группы, масса съедобных частей туши была больше по отношению к несъедобным частям, поэтому и коэффициент мясности был выше по сравнению со сверстницами I и II группами соответственно на 0,23 и 0,20 ед.

Показатели изучения внутренних органов представлены в таблице 13. В таблице представлены данные по абсолютному и относительному развитию внутренних органов ягнят разного происхождения.

Таблица 13.

**Масса внутренних органов ягнят**

Показатель	Группа		
	I	II	III
Живая масса предубойная, кг	29,8±0,12	30,6±0,20	31,3±0,23
Кровь, г	1061,0	1093,0	1146,0
%	3,56	3,57	3,66
Сердце, г	142,3	153,5	161,4
%	0,48	0,50	0,52
Легкие, г	414,5	434,7	473,9
%	1,39	1,42	1,51
Печень, г	596,7	611,1	625,3
%	2,0	2,0	2,0
Почки, г	107,9	111,8	118,1
%	0,36	0,37	0,38
Селезенка, г	64,5	65,8	67,3
%	0,22	0,22	0,22

Установлено, что животные III группы имели превосходство по массе внутренних органов над сверстницами I и II групп. Так, по массе вытек-

шей крови превосходство составило соответственно на 8,0% и 4,8%, масса сердца – на 13,4% и 5,1%, легких – на 14,3% и 9,0%, печени – 4,8% и 2,3%, почек – на 9,5 и 5,6%, селезенки – на 4,3% и 2,3%. В относительных величинах от предубойной массы в пределах опытных групп содержалось крови – от 3,56 до 3,66%, сердце – от 0,48 до 0,52%, легкие – от 1,39 до 1,51%, печень – составляла 2,0% во всех группах, почки – от 0,36 до 0,38% и селезенка – составила 0,22% по всем опытным группам.

Таким образом, животные III группы отличались лучшими убойными и мясными качествами, по сравнению с животными I и II группами.

### **Выводы**

По результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

Молодняк III группы полученный от спаривания животных между собой линий ВК-40 и МЕ-50 имеет более пропорциональные формы телосложения, лучшие убойные и мясные качества. Молодняк III группы превосходит сверстников линии ВК-40 (I группа) и межлинейного подбора маток линии АС-30 с баранами линии МЕ-50 (II группа) по индексу сбитости и массивности. Прирост живой массы ягнят, полученных при спаривании маток линии ВК-40 и баранов линии МЕ-50 (III группа), был более интенсивнее, чем у их сверстниц от внутрилинейного подбора линии ВК-40 (I группа) и межлинейного подбора маток линии АС-30 с баранами линии МЕ-50 (II группа). Самые тяжелые туши были у ягнят, полученных от спаривания маток линии ВК-40 и баранов линии МЕ-50 (13,26 кг), масса туши была больше, по сравнению с аналогичным показателем сверстниц I и II группы соответственно на 7,7 % и 4,0 %, по массе внутреннего жира – на 21,8 % и 9,8 %, по убойной массе – 8,3 % и 4,3 %, масса съедобных частей туши у животных III группы была больше по отношению к несъедобным частям и коэффициент мясности по сравнению со сверстницами I и II группами был выше соответственно на 0,23 и 0,20 ед. Также ярки III группы отмечались лучшим развитием внутренних органов по сравнению со сверстницами I и II опытных групп.

Наши рекомендации: В целях стабилизации отрасли овцеводства и поставки на рынок баранины высокого качества, необходимо применять межлинейные кроссы, а именно спаривать маток линии ВК-40 и баранов производителей линии МЕ-50.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование.** Научно-исследовательская работа выполнена в рамках реализации программы академического лидерства ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ «Приоритет-2030».

### *Список литературы*

1. Влияние метода разведения на воспроизводительные качества овцематок и сохранность ягнят / А. Ч. Гаглоев, В. Г. Завьялова, Е. С. Хамхоева, В. А. Попов // Наука и Образование. 2022. Т. 5, № 1. С. 31–35.
2. ГОСТ 7596-81. Мясо. Разделка баранины и козлятины для розничной торговли : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 3 февраля 1981 г. № 445 : дата введения 01.07.81. М. : Стандартиформ, 2006. 3 с.
3. Использование органоминеральных кормовых добавок при выращивании молодняка крупного рогатого скота в условиях Якутии / М. Ф. Григорьев, А. И. Григорьева, А. А. Сидоров, А. В. Попова // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 3. С. 89–102. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-3-89-102>
4. Красота В. Ф., Лобанов В. Т., Джапаридзе Г. П. Разведение сельскохозяйственных животных. М. : Агропромиздат, 1990. 463 с.
5. Методика оценки мясной продуктивности овец / В. В. Абонеев, С. А. Ерохин, Ю. Д. Квитко [и др.]. Ставрополь : СНИИЖК, 2009. 49 с.
6. Плохинский Н. А. Алгоритмы биометрии, М. : Изд-во Моск. уни-та, 1980. 150 с.
7. Продуктивные особенности овец в зависимости от возраста родителей / Е. Н. Чернобай, Н. И. Ефимова, В. И. Гузенко, Т. И. Антоненко // Вестник АПК Ставрополья. 2017. № 2 (26). С. 126–130.
8. Сельскохозяйственные животные. Физиологические и биохимические параметры организма : справочное пособие / В. И. Агафонов, С. Н. Аитов, М. Д. Аитова [и др.]. Боровск : ВНИИФБиП, 2002. 269 с.
9. Чернобай Е. Н. Влияние возраста родителей на экстерьерные особенности овец в СПК колхозе-племзаводе имени Ленина Арзгирского района // Инновации и современные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции : сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. Ставрополь, 2016. С. 324–327.
10. Чернобай Е. Н., Резун Н. А. Убойные показатели овец породы российский мясной меринос при внутри- и межлинейном разведении // Зоотехния. 2022. № 5. С. 38–40. <https://doi.org/10.25708/ZT.2022.56.56.011>

11. Щугорева Т. Э. Экстерьерные особенности молодняка овец разного генотипа // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2020. № 3 (62). С. 76–81.
12. Экстерьерные особенности помесного молодняка овец / Ю. А. Колосов, А. С. Дегтярь, Т. С. Романец, Ю. А. Фролова // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2022. № 1 (68). С. 145–149.
13. Enhancement of the Reliability of Animal Genotyping Regarding the Betterment of Wool Productivity in South-Kazakh Merino Sheep in Kazakhstan / E. I. Islamov, G. A. Kulmanova, B. T. Kulataev [et al.] // Archives of Razi Institute. 2021. Vol. 76, no. 6. P. 1703-1714. <https://doi.org/10.22092/ari.2021.356235.1809>
14. Genetic Basis for Improving the Reproductive Qualities and Productivity of South-Kazakh Merinoes / E. I. Islamov, G. A. Kulmanova, B. T. Kulataev, A. I. Zhumanova // Archives of Razi Institute. 2021. Vol. 76, no. 5. P. 1371–1380. <https://doi.org/10.22092/ari.2021.356168.1795>.
15. Meat productivity and exterior features of russian meat merino sheep of linear origin / E. N. Chernobai, O. N. Onischenko, V. I. Konoplev, L. P. Semkiv // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. “Innovative Technologies in Agroindustrial, Forestry and Chemical Complexes and Environmental Management, ITAFCCEM 2021”. 2021. С. 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/852/1/012014>
16. Producing higher value wool through a transition from Romney to Merino crossbred i: Flock dynamics, feed demand, and production of lambs and wool / L. J. Farrell, P. R. Tozer, P. R. Kenyon [et al.] // Small Ruminant Research. 2020. Vol. 192. С. 106212. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106212>
17. Reproductive ability and milk production of ewes with different variants of linear selection / E. N. Chernobai, N. A. Rezun, N. A. Agarkova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. “Innovative Technologies in Agroindustrial, Forestry and Chemical Complexes and Environmental Management, ITAFCCEM 2021”. 2021. С. 012015. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/852/1/012015>
18. Selected methods of formation desirable phenotype of different sheep breeds / V. I. Trukhachev, S. A. Oleinik, E. N. Chernobai [et al.] // Agriculture for the next 100 years. Proceedings of the 26th NJF Congress. 2018. P. 125–129. <https://doi.org/10.15544/njfcongress.2018.18>
19. Sheep productivity in relation to coarse fiber in new-born lambs of different genotypes / E. N. Chernobai, T. V. Voblikova, N. A. Agarkova, N. I. Efimova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 613. С. 012022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/613/1/012022>

### References

1. Gagloev A. Ch., Zav'yalova V. G., Khamkhoeva E. S., Popov V. A. Vliyanie metoda razvedeniya na vosproizvoditel'nye kachestva ovtsematok i sokhrannost' yagnyat [Influence of the breeding method on the reproductive qualities of ewes and the safety of lambs]. *Nauka i Obrazovanie*, 2022, vol. 5, no 1, pp. 31–35.
2. GOST 7596-81. *Myaso. Razdelka baraniny i kozlyatiny dlya roznichnoy trgovli* [Meat. Cutting lamb and goat meat for retail]: mezhgosudarstvennyy standart : izdanie ofitsial'noe : utverzhden v deystvie Postanovleniem Gosudarstvennogo komiteta SSSR po standartam ot 3 fevralya 1981 g. № 445 : data vvedeniya 01.07.81. Moscow: Standartinform, 2006, 3 p.
3. Grigor'ev M. F., Grigor'eva A. I., Sidorov A. A., Popova A. V. Ispol'zovanie organomineral'nykh kormovykh dobavok pri vyrashchivanii molodnyaka krupnogo rogatogo skota v usloviyakh Yakutii [The use of organomineral feed additives in the cultivation of young cattle in the conditions of Yakutia]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no 3, pp. 89–102. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-3-89-102>
4. Krasota V. F., Lobanov V. T., Dzhaparidze G. P. *Razvedenie sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh* [Cultivation of agricultural animals]. Moscow: Agropromizdat, 1990, 463 p.
5. Aboneev V. V., Erokhin S. A., Kvitko Yu. D., Sel'kin I. I., Sokolov A. N., Surov A. I., Omarov A. A. *Metodika otsenki myasnoy produktivnosti ovets* [Methods for assessing the meat productivity of sheep]. Stavropol: SNIIZhK, 2009, 49 p.
6. Plokhinskiy N. A. *Algoritmy biometrii* [Algorithms of biometrics]. Moscow: Izd-vo Mosk. uni-ta, 1980, 150 p.
7. Chernobay E. N., Efimova N. I., Guzenko V. I., Antonenko T. I. Produktivnyye osobennosti ovets v zavisimosti ot vozrasta roditel'ey [Productive features of sheep depending on the age of the parents]. *Agricultural bulletin of Stavropol region*, 2017, no. 2 (26), pp. 126–130.
8. Agafonov V. I., Aitov S. N., Aitova M. D., Arkhipov A. V., Baranov A. P., Butrov E. V., Burkova E. I., Bruszkova O. B., Galochkin V. A., Golenkevich E. K., Dolgov I. A., Dolgova S. I., Erimbetov K. T., Eremenko V. I., Komkova E. E., Kerdyashov N. N., Lysov A. V., Makar Z. N., Matyushchenko P. V., Manukhina A. I., Matveev V. A., Medvedev I. K., Radchenkov V. P., Reshetov V. B., Ryabykh T. E., Sapunov M. I., Sukhikh V. F., Tarakanov B. V., Kharitonov L. V., Cherepanov G. G., Sheshukov L. P. *Sel'skokhozyaystvennyye zhivotnye. Fiziologicheskie i biokhimicheskie parametry organizma : spravochnoe posobie* [Farm animals. Physiological and biochemical parameters of the body: a reference guide]. Borovsk: VNIIFBiP, 2002, 269 p.

9. Chernobay E. N. Vliyanie vozrasta roditeley na ekster'ernye osobennosti ovets v SPK kolkhoze-plemzavode imeni Lenina Arzgirskogo rayona [The influence of the age of parents on the exterior features of sheep in the SPK collective farm-stud farm named after Lenin, Arzgirsky district]. *Innovatsii i sovremennye tekhnologii v proizvodstve i pererabotke sel'skokhozyaystvennoy produktsii : sb. nauch. tr. po materialam Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Innovations and modern technologies in the production and processing of agricultural products: Sat. scientific tr. according to the materials of the International scientific-practical. conf]. Stavropol, 2016, pp. 324–327.
10. Chernobay E. N., Rezun N. A. Uboynye pokazateli ovets porody rossiy-skiy myasnoy merinos pri vnutri- i mezhlineynom razvedenii [Slaughter indicators of sheep of the Russian meat merino breed during intra- and interline breeding]. *Zootechniya*, 2022, no. 5, pp. 38–40. <https://doi.org/10.25708/ZT.2022.56.56.011>
11. Shchugoreva T. E. Ekster'ernye osobennosti molodnyaka ovets raznogo genotipa [Exterior features of young sheep of different genotypes]. *The bulletin of Michurinsk state agrarian university*, 2020, no 3 (62), pp. 76–81.
12. Kolosov Yu. A., Degtyar' A. S., Romanets T. S., Frolova Yu. A. Ekster'ernye osobennosti pomesnogo molodnyaka ovets [Exterior features of crossbred young sheep]. *The bulletin of Michurinsk state agrarian university*, 2022, no. 1 (68), pp. 145–149.
13. Islamov E. I., Kulmanova G. A., Kulataev B. T., Bekbaeva D. N., Zhumanova A. S. Enhancement of the Reliability of Animal Genotyping Regarding the Betterment of Wool Productivity in South-Kazakh Merino Sheep in Kazakhstan. *Archives of Razi Institute*, 2021, vol. 76, no 6. pp. 1703-1714. <https://doi.org/10.22092/ari.2021.356235.1809>
14. Islamov E. I., Kulmanova G. A., Kulataev B. T., Zhumanova A. I. Genetic Basis for Improving the Reproductive Qualities and Productivity of South-Kazakh Merinoes. *Archives of Razi Institute*, 2021. Vol. 76, no 5, pp. 1371–1380. <https://doi.org/10.22092/ari.2021.356168.1795>
15. Chernobai E. N., Onischenko O. N., Konoplev V. I., Semkiv L. P. Meat productivity and exterior features of russian meat merino sheep of linear origin. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. "Innovative Technologies in Agroindustrial, Forestry and Chemical Complexes and Environmental Management, ITAFCCEM 2021"*, 2021, art. 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/852/1/012014>
16. Farrell L. J., Tozer P. R., Kenyon P. R., Ramilan T., Cranston L. M. Producing higher value wool through a transition from Romney to Merino crossbred i: Flock dynamics, feed demand, and production of lambs and wool. *Small Rumi-*

- nant Research*, 2020, vol. 192, art. 106212. <https://doi.org/10.1016/j.smallrum-res.2020.106212>
17. Chernobai E. N., Rezun N. A., Agarkova N. A. Reproductive ability and milk production of ewes with different variants of linear selection. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. “Innovative Technologies in Agroindustrial, Forestry and Chemical Complexes and Environmental Management, ITAFCCEM 2021”, 2021, art. 012015. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/852/1/012015>
  18. Trukhachev V. I., Oleinik S. A., Chernobai E. N., Antonenko T. I., Konoplev V. I. Selected methods of formation desirable phenotype of different sheep breeds. *Agriculture for the next 100 years. Proceedings of the 26th NJF Congress*, 2018, pp. 125–129. <https://doi.org/10.15544/njfccongress.2018.18>
  19. Chernobai E. N., Voblikova T. V., Agarkova N. A., Efimova N. I. Sheep productivity in relation to coarse fiber in new-born lambs of different genotypes. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 613, art. 012022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/613/1/012022>

#### ДАнные ОБ АВТОРАХ

**Чернобай Евгений Николаевич**, доктор биологических наук, профессор  
*ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет  
пер. Зоотехнический, 12, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация  
bay973@mail.ru*

**Олейник Сергей Александрович**, доктор сельскохозяйственных наук,  
профессор  
*ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет  
пер. Зоотехнический, 12, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация  
solinyk60@gmail.com*

**Онищенко Ольга Николаевна**, аспирант  
*ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет  
пер. Зоотехнический, 12, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация  
74helga74@mail.ru*

**Литвинов Сергей Владимирович**, председатель  
*СХА (колхоз) Родина  
ул. Октябрьская, 99, с. Воздвиженское, Апанасенковский район,  
Ставропольский край, 356710, Российская Федерация  
26Rodina@mail.ru*

**Суров Александр Иванович**, доктор сельскохозяйственных наук  
*Всероссийский научно-исследовательский институт овцеводства  
и козоводства - филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный  
научный аграрный центр»  
пер. Зоотехнический, 15, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация  
surov.stv@yandex.ru*

#### DATA ABOUT THE AUTHORS

**Evgeny N. Chernobai**, Doctor of Biological Sciences, Professor  
*Stavropol State Agrarian University  
12, Zootechnichesky, Stavropol, 355017, Russian Federation  
bay973@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1187-1499>*

**Sergey A. Oleinik**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor  
*Stavropol State Agrarian University  
12, Zootechnichesky, Stavropol, 355017, Russian Federation  
soliynik60@gmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6003-4777>*

**Olga N. Onishchenko**, postgraduate student  
*Stavropol State Agrarian University  
12, Zootechnichesky, Stavropol, 355017, Russian Federation  
74helga74@mail.ru*

**Sergey V. Litvinov**, Chairman  
*SHA (collective farm) Motherland  
99, Oktyabr'skaya Str., Vozdvizhenskoye, Apanasenkovsky district, Stav-  
ropol Territory, 356710, Russian Federation  
26Rodina@mail.ru*

**Alexander I. Surov**, Doctor of Agricultural Sciences  
*All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding - branch  
of the Federal State Budgetary Scientific Institution "North Caucasian  
Federal Scientific Agrarian Center"  
15, Zootechnichesky, 15, Stavropol, 355017, Russian Federation  
surov.stv@yandex.ru*

Поступила 23.11.2022

После рецензирования 10.12.2022

Принята 18.12.2022

Received 23.11.2022

Revised 10.12.2022

Accepted 18.12.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-197-218

УДК 636.5.033: 636.084.4



Научная статья | Кормопроизводство

## ВЛИЯНИЕ КУМАРИНА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ, ИММУНИТЕТ И АНТИОКСИДАНТНЫЙ СТАТУС ЗДОРОВЫХ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ

*Г.К. Дускаев, Т.А. Климова*

**Обоснование.** Кумарины – природные соединения (вторичные метаболиты растительного происхождения) обладают широким спектром биологической активности, в основном благодаря их способности взаимодействовать с разнообразными ферментами и рецепторами в живых организмах. Актуальность их использования в кормлении сельскохозяйственной птицы очевидна, ввиду активного поиска альтернатив кормовым антибиотикам.

**Целью исследования** явилась оценка влияния кумарина на продуктивность и антиоксидантный статус цыплят-бройлеров.

**Материалы и методы.** Объекты исследования: цыплята-бройлеры кросса Арбор Айкрес, 7-Гидроксикумарин. Эксперимент проведен на 180 головах 7-дневных цыплят-бройлеров ( $n=45$ ). Контрольная – основной рацион (ОР), 1 опытная – ОР + кумарин (в дозе 1 мг/кг корма /сут., 2 опытная – ОР + кумарин в дозе 2 мг/кг корма /сут., 3 опытная – ОР + кумарин в дозе 3 мг/кг корма /сут. Гематологические показатели (число и вид лейкоцитов) учитывали на автоматическом гематологическом анализаторе URIT-2900 Vet Plus («URIT Medical Electronic Group Co., Ltd», Китай). Биохимический анализ сыворотки крови проводили на автоматическом биохимическом анализаторе CS-T240 («Dirui Industrial Co., Ltd», Kumai).

**Результаты.** Включение в рацион 7-гидроксикумарина способствовало увеличению живой массы в опытных группах – на 8,6–19,4%; потреблению корма, среднесуточного прироста (на 9,2–21,1%), убойного выхода (до 4,76%), на фоне снижения расхода корма на 1 кг прироста живой массы (на 3,5–15,7%). Анализ биохимических показателей сыворотки крови показал снижение показателей общего белка, альбуминов, АЛТ (1 и 2 группа ( $p \leq 0,05$ )), билирубина (на 38,3–68,6%), холестерина (в 3 группе на 16,4% ( $p \leq 0,05$ )), триглицеридов (1 и 2 группы,  $p \leq 0,05$ ), мочевины (41,8–65,1%;  $p \leq 0,05$ ), на фоне

повышенного уровня железа (1 и 2 группы,  $p \leq 0,05$ ). В зависимости от дозы 7-гидроксикумарина установлено снижение количества лейкоцитов (1 группа,  $p \leq 0,05$ ), нейтрофилов (1 и 2 группа,  $p \leq 0,05$ ), моноцитов, эозинофилов и базофилов ( $p \leq 0,05$ ). Антиоксидантные показатели характеризовались снижением уровня малонового диальдегида (на 63,7–77,3%), активности супероксиддисмутазы (22,4–71,5%) и увеличением активности каталазы (на 24,3–46,1%).

**Заключение.** Включение в рацион 7-гидроксикумарина (2 мг/кг корма /сут.) способствовало увеличению живой массы цыплят-бройлеров, поедаемости корма, убойного выхода, на фоне более низкого расхода корма на прирост 1 кг живой массы; положительно повлияло на показатели печени (АЛТ, общий билирубин), липидного и азотистого обмена (триглицериды, мочевины), антиоксидантный статус организма цыплят-бройлеров.

**Ключевые слова:** цыплята-бройлеры; кумарин; живая масса; биохимия крови; антиоксидантные показатели; белые клетки крови

**Для цитирования.** Дускаев Г.К., Климова Т.А. Влияние кумарина на продуктивность, иммунитет и антиоксидантный статус здоровых цыплят-бройлеров // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №3. С. 197-218. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-197-218

Original article | Feed Production

## INFLUENCE OF COUMARIN ON PRODUCTIVITY, IMMUNITY AND ANTIOXIDANT STATUS OF HEALTHY BROILERS

*G.K. Duskaev, T.A. Klimova*

**Background.** Coumarins are natural compounds (secondary metabolites of plant origin) that have a wide range of biological activity, mainly due to their ability to interact with various enzymes and receptors in living organisms. The relevance of their use in feeding poultry is obvious, in view of the active search for alternatives to feed antibiotics.

The **aim of the study** was to evaluate the effect of coumarin on the productivity and antioxidant status of broiler chickens.

**Materials and methods.** Objects of study: broiler chickens of the Arbor Acres cross, 7-hydroxycoumarin. The experiment was carried out on 180 heads of 7-day-

old broiler chickens ( $n=45$ ). Control – the main diet (OR), 1 experimental – OR + coumarin (at a dose of 1 mg/kg of feed/day, 2 experimental – OR + coumarin at a dose of 2 mg/kg of feed / day, 3 experimental – OR + coumarin in at a dose of 3 mg/kg feed/day. Hematological parameters (number and type of leukocytes) were taken into account on an automatic hematological analyzer URIT-2900 Vet Plus (URIT Medical Electronic Group Co., Ltd, China). Biochemical analysis of blood serum was performed on an automatic biochemical analyzer CS-T240 (Dirui Industrial Co., Ltd, China).

**Results.** The inclusion of 7-hydroxycoumarin in the diet contributed to an increase in live weight in the experimental groups by 8,6–19,4%; (by 9,2–21,1%), slaughter yield (up to 4,76%), against the background of a decrease in feed consumption per 1 kg of live weight gain (by 3,5–15,7%). showed a decrease in total protein, albumin, ALT (groups 1 and 2 ( $p\leq 0,05$ )), bilirubin (by 38,3–68,6%), cholesterol (in group 3 by 16,4% ( $p\leq 0,05$ )), triglycerides (groups 1 and 2,  $p\leq 0,05$ ), urea (41,8–65,1%;  $p\leq 0,05$ ), against the background of elevated iron levels (groups 1 and 2,  $p\leq 0,05$ ). Depending on the dose of 7-hydroxycoumarin, a decrease in the number of leukocytes (group 1,  $p\leq 0,05$ ), neutrophils (groups 1 and 2,  $p\leq 0,05$ ), monocytes, eosinophils and basophils ( $p\leq 0,05$ ). Antioxidant indicators were characterized by a decrease in the level of malondialdehyde (by 63,7–77,3%), superoxide dismutase activity (22,4–71,5%) and an increase in catalase activity (by 24,3–46,1%).

**Conclusion.** Thus, the inclusion of 7-hydroxycoumarin (2 mg/kg feed/day) in the diet contributed to an increase in the live weight of broiler chickens, feed intake, slaughter yield, against the background of a lower feed consumption per 1 kg of live weight gain; had a positive effect on the parameters of the liver (ALT, total bilirubin), lipid and nitrogen metabolism (triglycerides, urea), the antioxidant status of the body of broiler chickens.

**Keywords:** broiler chickens; coumarin; live weight; blood biochemistry; antioxidant indicators; white blood cells

**For citation.** Duskaev G.K., Klimova T.A. Influence of Coumarin on Productivity, Immunity and Antioxidant Status of Healthy Broilers. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 197-218. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-197-218

## Введение

Бесконтрольное использование кормовых антибиотиков оказалось вредным и привело к появлению микробов с множественной лекарственной устойчивостью. В результате использование антибиотиков в качестве кормовых добавок было запрещено. Исследования были направлены на

поиск альтернатив антибиотикам-стимуляторам роста для сельскохозяйственной птицы, которые не имеют каких-либо побочных эффектов [16, с. 1]. Это привело к выявлению кормовых добавок, в том числе лекарственных растений, содержащих активные растительные вещества. Именно добавление в рацион сельскохозяйственной птицы различных кормовых добавок растительного происхождения способствует улучшению живой массы, конверсии корма и продуктивности птицы.

Кумарины способны выступать в качестве безопасной альтернативы антибиотикам. Кумарины являются природными органическими соединениями (вторичные метаболиты растительного происхождения), обладают широким спектром биологической активности, от антимикробной до антиоксидантной [32, с. 1405].

Например, добавка в рацион мяты перечной (*Mentha piperita L.*) и цикория (*Cichorium intybus L.*) привела к значительному ( $p < 0,05$ ) приросту массы тела и потребления корма что было обнаружено на 21-й и 42-й день периода роста у бройлеров. Также показатели, связанные с иммунитетом, выявили, что у цыплят, получавших цикорий, было более низкое ( $p < 0,05$ ) соотношение гетерофилов к лимфоцитам по сравнению с другими группами [35, с. 1].

Также, например добавление в рацион бройлеров 1% порошка бутонов гвоздики в сочетании либо с 0,2% экстрактом Melissa лимонной, либо с 0,2% экстракта репейника (оба измельченных экстракта растворены в питьевой воде) благотворно влияли на антиоксидантное состояние бройлеров. Кроме того, комбинация гвоздики и Melissa показала лучшие антиоксидантные свойства по сравнению с гвоздикой и репейником [24, с. 970].

Экстракт *Phoenix dactylifera*, содержащий 4,6-диметил-3-(4-метоксифенил) кумарин влияет на показатели роста, популяцию кишечных бактерий и профили экспрессии кишечных генов у цыплят-бройлеров [28, с. 179].

Применение экстракта древесины каштана (*Chestnut wood*) в качестве источника гидролизуемой дубильной кислоты рекомендовано для улучшения антиоксидантного статуса, метаболизма холестерина и показателей роста, не влияя на нормальное качество мяса цыплят-бройлеров [19, с. 4494]. Рядом исследователями была определена положительная способность экстрактов отходов *Caryocar brasiliense* и *Euterpe edulis* снижать окислительные процессы в мясе бройлеров, не содержащем антибиотиков [12, с. 14]. Ранее нашими коллегами было выявлено что включение кумарина в рацион способствует увеличению живой массы и повышению продуктивности цыплят-бройлеров [1, с. 203].

Активность кумарина напрямую связана с их способностью взаимодействовать с разнообразными ферментами и рецепторами в живых организмах. В связи с этим целью нашего исследования является оценка влияния кумарина на продуктивность и антиоксидантный статус цыплят-бройлеров.

### **Материалы и методы исследования**

Исследование проведено в условиях вивария центра коллективного пользования научным оборудованием ФНЦ БСТ РАН, период проведения февраль – август 2022 года. Объекты исследования: цыплята-бройлеры кросса Арбор Айкрес, 7-Гидроксикумарин (99% АС12111-0250). Ранее [9, с. 3] нами обнаружено, что данное вещество, являющегося вторичным метаболитом растений, обладает антибактериальными и анти-QS свойствами.

Для эксперимента было отобрано 180 голов 7-дневных цыплят-бройлеров, которых методом аналогов разделили на 4 группы ( $n = 45$ ). Контрольная – основной рацион (ОР), 1 опытная – ОР + кумарин (в дозе 1 мг/кг корма /сут., 2 опытная – ОР + кумарин в дозе 2 мг/кг корма /сут., 3 опытная – ОР + кумарин в дозе 3 мг/кг корма /сут. Во время эксперимента вся птица находилась в одинаковых условиях содержания. Формирование общих рационов (ОР) для подопытной птицы в ходе исследований проводилось с учетом рекомендаций ВНИТИП [2, с.14]. Кормление опытной птицы проводилось 2 раза в сутки, учет поедаемости – ежесуточно. Декапитации птицы под нембуталовым эфиром производили на 42-е сут. Послеубойную анатомическую разделку тушек осуществляли по методике ВНИТИП [2, с. 25].

Образцы крови для гематологических исследований отбирали в вакуумные пробирки с антикоагулянтом (EDTA-K3), для биохимических исследований – в вакуумные пробирки с активатором свертывания (тромбин). Гематологические показатели (число и вид лейкоцитов) учитывали на автоматическом гематологическом анализаторе URIT-2900 Vet Plus («URIT Medical Electronic Group Co., Ltd», Китай). Биохимический анализ сыворотки крови проводили на автоматическом биохимическом анализаторе CS-T240 (“Dirui Industrial Co., Ltd”, Китай).

Статистическую обработку проводили с помощью программы IBM «SPSS Statistics Version 20», рассчитывая среднюю величину (M), среднеквадратичное отклонение ( $\sigma$ ), ошибку стандартного отклонения (m). Уровень значимости считали достоверным при  $p < 0,05$ .

### Результаты исследования

Включение в рацион 7-гидроксикумарина способствовало увеличению живой массы в трех опытных группах, особенно это заметно с 21 по 42 день эксперимента (табл. 1). На 21 день исследования по отношению к контрольной группе в опытных группах было достоверное увеличение на 18,07% ( $p \leq 0,05$ ), 17,6% ( $p \leq 0,05$ ), 13,9% ( $p \leq 0,05$ ). На 28 день исследования увеличение живой массы в трех опытных группах относительно контроля было на 15,6% ( $p \leq 0,05$ ), 39,9% ( $p \leq 0,05$ ), 15,4% ( $p \leq 0,05$ ). 35-й день исследования показал, что увеличение живой массы присутствовало во 2-опытной группе – 18,2% ( $p \leq 0,05$ ). В двух других опытных группах – 8,7% и 11,8%. На 42 день эксперимента также достоверное увеличение живой массы наблюдалось во 2-опытной группе – 19,4% ( $p \leq 0,05$ ).

Таблица 1.

Еженедельное изменение живой массы цыплят-бройлеров, г

Неделя	Группа			
	контрольная	1 опытная	2 опытная	3 опытная
7	204,14±10,5	203,86±9,7	204,00±10,0	203,86±8,6
14	424,57±19,9	466,00±21,7	480,50±22,3	453,40±26,0
21	823,71±31,4	972,57±34,9*	969,00±43,6*	938,80±43,4*
28	1 207,86±62,9	1 396,71±59,2*	1 438,83±73,0*	1 394,80±54,7*
35	1 628,14±90,5	1 770,43±91,2	1 925,00±74,7*	1 821,60±93,0
42	2 219,57±126,2	2 415,86±149,7	2 651,67±118,4*	2 411,80±153,0

При оценке потребления корма установлено, что максимальная поедаемость отмечена в 1 опытной группе. Низкая поедаемость корма была характерна для цыплят-бройлеров 3 опытной группы (табл. 2). Цыплятами 1, 2 и 3 опытных групп было потреблено больше корма, чем птицей контрольной группы на 5,3%, 2,9% и 0,4%, соответственно.

Таблица 2.

Поедаемость корма цыплятами-бройлерами за эксперимент, г

Показатель	Группа			
	контрольная	1 опытная	2 опытная	3 опытная
Стартовый комбикорм	1911,86	2121,71	2028,14	2045
Ростовой комбикорм	1976,43	1976,14	1976,43	1862,29
Всего за эксперимент	3888,29	4097,86	4004,57	3907,29

Абсолютный прирост массы цыплят-бройлеров 1 опытной группы был выше контрольной на 9,7%, 2 и 3 опытных групп на 21,1% ( $p \leq 0,05$ ) и

9,2%. Среднесуточный привес на голову был выше контроля во 2 опытной группе на 21,1% ( $p \leq 0,05$ ) (табл. 3). Установлено, что расход корма на 1 кг прироста живой массы в опытных группах была от 3,5 до 15,7% ниже контрольных значений.

Таблица 3.

**Продуктивность и расход корма на прирост 1 кг живой массы  
цыплят-бройлеров**

Группа	Среднесуточный прирост за 5 недель, г	Абсолютный прирост, г	Расход корма на прирост 1 кг живой массы, кг
контрольная	57,58±3,4	2015,43±118,8	1,97±0,1
1 опытная	63,20±4,1	2212,0±142,5	1,90±0,1
2 опытная	69,74±3,2*	2440,83±110,9*	1,66±0,1*
3 опытная	62,91±4,4	2202,0±153,7	1,82±0,2

Для сравнительной оценки мясных качеств цыплят-бройлеров был проведен контрольный убой, полученные данные, свидетельствуют, что высокая предубойная живая масса птиц во 2 опытной группе (2651,7 гр.), превосходила контрольных особей на 19,4% ( $p \leq 0,05$ ), за счет более развитой мышечной массы и меньшего количества кишечного жира (табл. 4). Остальные опытные группы занимали промежуточное положение, но отличное от контрольных значений в сторону превосходства. Таким образом, применение введения в рацион кумарина в разной дозировке, оказало положительное влияние на убойный выход, который оказался на 1,73–4,76% выше, чем у контрольной группы.

Таблица 4.

**Убойные показатели цыплят-бройлеров на конец эксперимента**

Показатель	контрольная	1 опытная	2 опытная	3 опытная
Предубойная живая масса, г	2219,6±126,1	2415,9±149,66	2651,7±118,39	2411,8±153,04
Потрошенная тушка, г	1538,7±90,36	1705,4±112,04	1920,5±78,41	1752,4±112,42
Мышечная ткань, г	833,9±37,39	935,0±67,47	972,0±62,71	924,0±23,57
Костная ткань, г	492,0±22,39	516,3±31,45	516,7±31,32	496,5±10,74
Съедобная часть, г	1546,5±60,22	1701,5±116,08	1763,9±98,35	1674,9±38,16
Несъедобная часть	746,2±31,57	776,6±45,82	794,7±37,11	743,4±22,52
Убойный выход, %	69,3±0,29	70,5±0,42	72,6±2,00	72,6±0,21

Анализ биохимических показателей сыворотки крови (табл. 5) показал, что в 3 опытной группе наблюдали низкие показатели общего белка по

сравнению с контрольной группой, на 11,0% ( $p \leq 0,05$ ). Низкие показатели альбумина присутствовали во 2 опытной группе в сравнении с контролем на 8,9% ( $p \leq 0,05$ ).

Наибольший показатель АЛТ (аланинаминотрансфераза) был выявлен у 3 опытной группы, который на 24,1% ( $p \leq 0,05$ ) превышал контроль, у 1 и 2 опытных групп показания были ниже на 52,6% ( $p \leq 0,05$ ) и 68,3% ( $p \leq 0,05$ ), соответственно. Высокий показатель АСТ (аспартатаминотрансфераза) был зафиксирован в 1 опытной группе, который был выше на 30,9% ( $p \leq 0,05$ ). У других опытных групп показания находились примерно на одном уровне.

Включение кумарина в рацион способствовало уменьшению показателя билирубина во всех опытных группах по сравнению с группой контроля на 68,6% ( $p \leq 0,05$ ), 38,3% ( $p \leq 0,05$ ) и 54,6% ( $p \leq 0,05$ ), соответственно.

Изменения уровня холестерина наблюдается во всех опытных группах. Однако, значительное снижение холестерина было выявлено в 3 опытной группе на 16,4% ( $p \leq 0,05$ ).

Триглицериды являются маркером энергетического и липидного обмена в крови. У цыплят-бройлеров, получавших в рационе кумарин (1 и 2 опытные группы) по сравнению с контролем, их показатели были ниже на 65,0% ( $p \leq 0,05$ ) и 27,5% ( $p \leq 0,05$ ). При добавлении кумарина в дозе 3 мг/кг корма /сут уровень триглицеридов был выше на 12,5%.

Во всех опытных группах было обнаружено пониженное содержание мочевины на 53,4% ( $p \leq 0,05$ ), 65,1% ( $p \leq 0,05$ ) и 41,8% ( $p \leq 0,05$ ) относительно контроля. Тогда как в 3 опытной группе показатель мочевины был ниже на 49,6% ( $p \leq 0,05$ ) относительно контроля.

Зафиксировано повышение содержания железа при введении кумарина в 1 и 2 опытных группах на 50,5% ( $p \leq 0,05$ ) и 69,6% ( $p \leq 0,05$ ) относительно контроля. Снижение содержания фосфора наблюдалось в опытных группах по сравнению с контролем на 40,0–48,0% ( $p \leq 0,05$ ).

Добавление в рацион кумарина в дозировке 3 мг/кг/корма сопровождалось повышением количества лейкоцитов на 17,3% ( $p \leq 0,05$ ) относительно контроля (табл. 6). Снижение количества лейкоцитов было замечено в 1 опытной группе на 10,5% ( $p \leq 0,05$ ) по сравнению с группой контроля. Установлено уменьшение количества нейтрофилов во 2 опытной группе на 34,1% ( $p \leq 0,05$ ) и моноцитов на 48,1% ( $p \leq 0,05$ ), относительно контроля.

Таблица 5.

**Биохимические показатели сыворотки крови цыплят-бройлеров**

Показатель	Группа			
	контрольная	1 опытная	2 опытная	3 опытная
Глюкоза, ммоль/л	9,86±1,02	11,28±0,22	10,49±0,10	10,86±0,36
Общий белок, г/л	51,64±0,46	49,09±1,14	46,32±2,21	45,95±0,56*
Альбумин, г/л	14,00±0,00	13,75±0,48	12,75±0,48*	13,75±0,48
АЛТ, Ед/л	12,00±0,26	5,68±0,36*	3,80±0,25*	14,90±0,51*
АСТ, Ед/л	258,33±19,05	338,35±9,43*	244,65±11,17	257,15±4,88
Билирубин общий, мкмоль/л	0,86±0,04	0,27±0,03*	0,53±0,05*	0,39±0,05*
Холестерин, ммоль/л	2,61±0,06	2,43±0,07	2,38±0,11	2,18±0,13*
Триглицериды, ммоль/л	0,80±0,09	0,28±0,02*	0,58±0,02*	0,90±0,02
Мочевина, ммоль/л	0,43±0,03	0,20±0,06*	0,15±0,03*	0,25±0,06*
Креатинин, мк- моль/л	76,67±3,19	76,85±1,15	71,78±2,26	73,78±1,21
Мочевая кислота, мкмоль/л	70,20±12,62	25,28±5,74*	53,58±2,63	35,38±1,32*
Железо, мкмоль/л	13,40±1,88	20,18±0,62*	22,73±1,21*	14,78±1,07
Магний, ммоль/л	0,80±0,10	0,84±0,09	0,81±0,02	0,71±0,03
Кальций, мкмоль/л	1,13±0,06	1,19±0,03	1,20±0,02	1,23±0,04
Фосфор, ммоль/л	1,25±0,11	0,65±0,03*	0,73±0,06*	0,75±0,02*

Таблица 6.

**Изменения белых клеток крови цыплят-бройлеров**

Клетки крови	контрольная	1 опытная	2 опытная	3 опытная
Лейкоциты, 10 <sup>9</sup> кл/л	39,05±0,85	34,94±0,93*	38,24±2,58	45,83±1,18*
Нейтрофилы, 10 <sup>9</sup> кл/л	15,67±0,64	10,49±0,45*	10,14±0,23*	16,88±0,92
Лимфоциты, 10 <sup>9</sup> кл/л	24,43±0,98	23,50±1,16	23,00±1,70	22,45±1,38
Моноциты, 10 <sup>9</sup> кл/л	0,49±0,03	0,24±0,01*	0,24±0,01*	0,26±0,03*
Эозинофилы, 10 <sup>9</sup> кл/л	4,27±0,23	1,67±0,12*	2,54±0,08*	3,76±0,34
Базофилы, 10 <sup>9</sup> кл/л	0,44±0,01	0,16±0,01*	0,20±0,03*	0,24±0,02*

На фоне снижения активности супероксиддисмутазы во всех опытных группах, достоверные различия с контролем были характерны для всех опытных групп на 57,5% ( $p \leq 0,05$ ), 71,5% ( $p \leq 0,05$ ), 22,4% ( $p \leq 0,05$ ) (табл. 7).

Уровень активности каталазы был стабильно высоким в ответ на введение кумарина в рационе во всех опытных группах на 46,1% ( $p \leq 0,05$ ), 24,3% ( $p \leq 0,05$ ), 36,5% ( $p \leq 0,05$ ) по сравнению с контрольной группой. Показатели активности малонового диальдегида были низкими у всех опытных групп на 72,4% ( $p \leq 0,05$ ), 77,3% ( $p \leq 0,05$ ) и 63,7% ( $p \leq 0,05$ ) в сравнении с контролем.

Таблица 7.

**Антиоксидантные показатели крови цыплят-бройлеров**

Показатель	Группа			
	контрольная	1 опытная	2 опытная	3 опытная
Малоновый диальдегид, мкМоль/л	5,22±0,41	1,44±0,09*	1,18±0,03*	1,89±0,09*
Супероксиддисмутаза, %	40,37±1,08	17,15±0,89*	11,49±0,63*	31,31±2,03*
Каталаза, мкМоль H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> л/мин	242,70±12,66	354,15±31,30*	301,91±13,20*	331,38±12,78*

### Обсуждение

Кумарины – природные соединения (вторичные метаболиты растительного происхождения) обладают широким спектром биологической активности, в основном благодаря их способности взаимодействовать с разнообразными ферментами и рецепторами в живых организмах [4, с. 4]. Перспективность их применения очевидна, в связи с увеличением в последние годы исследований их свойств на лабораторных животных [11, с. 3], в растениеводстве [31, с. 175], создании новых лекарств [6, с. 4; 25, с. 3; 26, с. 4] и др., при этом следует отметить, что исследования на сельскохозяйственной птице практически не проводились.

Следует отметить, что кумарин в невысоких дозах не токсичен и положительно влияет на рост, фертильность, поведение и метаболизм липидов (рыбки данио) [5, с. 4]. В проведенном эксперименте на цыплятах-бройлерах кросса Арбор Айкрес также наблюдалось положительное влияние 7-гидроксикумарина на изменение живой массы. Аналогичный эффект наблюдался у лабораторных животных (крыс), получавших дафнетин (производное кумарина), отмечалось повышение массы тела по сравнению с другими группами [23, с. 5].

Механизм действия в данном случае нами объясняется усилением обмена веществ в организме цыплят-бройлеров, в результате опосредованного действия 7-гидроксикумарина. В частности, это может быть связано с опосредованной метаболической активацией и дезактивацией 7-гидрокси-

кумарином ферментов цитохрома P450 [22, с. 373], участвующих в обмене веществ. Так у бройлеров ранее отмечено изменение ферментов цитохрома P450 при скармливании растительных алкалоидов [18, с. 620] и куркумина [8, с. 7040]. Кроме того известно, что ряд производных кумаринов показали значительную антибактериальную активность [7, с. 5] против патогенной микрофлоры, природные кумарины (остол) обладают противовоспалительными свойствами, ингибируя выработку NO, PGE2, TNF- $\alpha$  и IL-6 в макрофагах [10, с. 6]. Таким образом, кумарины опосредованно снижают нагрузку организма патогенными агентами, что положительно влияет на поедаемость корма, переваримость, усвояемость компонентов корма и продуктивность птицы в целом.

Разная дозировка 7-гидроксикумарина повлияла на содержание ферментов печени (аланинаминотрансфераза и аспаратаминотрансфераза) и продуктов метаболизма гемоглобина (билирубин общий) в сыворотке крови. За некоторым исключением обнаружено общее снижение данных показателей. Объяснение этому факту может дать ранее установленная способность кумаринов проявлять гепатопротекторную активность. Так, соединения кумарина из околоплодника *Citrus grandis* подавляли повышение уровней аланинтрансаминазы (АЛТ) и аспаратаминотрансферазы (АСТ) в клетках LO2, обработанных d-галактозамином, что еще раз подтверждает их гепатопротекторное действие [34, с. 1940]. Аналогичный эффект наблюдали при использовании новых кумариновых глюкозида из стеблей *Hydrangea paniculata* [20, с. 5].

Кроме того, в эксперименте на лабораторных животных (мыши), ранее установлено, что 7-гидроксикумарин увеличивал уровень глюкозы в крови и подавлял активность АЛТ и АСТ у мышей с диабетом [37, с. 5]. Аналогичные результаты были отмечены и в проведенном нами эксперименте на здоровых цыплятах-бройлерах.

Анализ сыворотки крови показывает снижение триглицеридов (при низких концентрациях 7-гидроксикумарина в рационах цыплят-бройлеров), мочевины и мочевой кислоты. Это согласуется с ранее проведенными исследованиями на других видах животных, так кумарин в количестве 5 г/кг в рационе кроликов снизил уровень общего холестерина и триглицеридов в сыворотке крови [14, с. 38], кумарин в составе экстракта от *Hydrangea paniculata* значительно снижал концентрацию азота мочевины в крови мышей [38, с. 3].

Кумарины способны мобилизовать железо, которые выделяются корнями растений и помогают поглощать железо из бедных железом почв [33, с. 1409]. Способность конкретных кумаринов хелатировать и мобилизовать

Fe вариабельна и зависит от наличия в их структуре катехолической части [36, с. 360]. Вероятно, данная способность кумаринов способствовала увеличению Fe в сыворотке крови цыплят-бройлеров опытных групп.

Что касается снижения уровня фосфора в сыворотке крови цыплят-бройлеров опытных групп, то это может быть связано с антагонистическими явлениями между данным элементом и железом [15, с. 382].

Включение разных доз 7-гидроксикумарина в состав рациона цыплят-бройлеров изменило гематологические показатели, аналогичный эффект наблюдали у крыс, получавших дафнетин (производное кумарина), также наблюдалось изменение гематологических параметров такие как лейкоциты, лимфоциты, нейтрофилы, моноциты, эозинофилы, моноциты и базофилы соответственно [23, с. 5].

Более низкие значения нейтрофилов, моноцитов, эозинофилов и базофилов в крови цыплят-бройлеров опытных групп объясняется доказанным противовоспалительным действием 7-замещенных производных кумарина [21, с. 5], в нашем случае 7-гидроксикумарина, иммуномодулирующими свойствами (экстракты цветков *Nelumbo nucifera*, содержащих кумарин) способностью подавлять секрецию TNF- $\alpha$  в вызванных воспалением макрофагах моноцитов [30, с. 5]. Кумарины подавляют высвобождение эластазы и образование активных форм кислорода в нейтрофилах здоровых субъектов, высвобождение нейтрофильных внеклеточных ловушек и синовиальную инфильтрацию общего количества лейкоцитов и нейтрофилов [3, с. 122], что также влияет на их концентрацию в крови.

Снижение в крови цыплят-бройлеров опытных групп показателей антиоксидантного статуса (малоновый диальдегид, супероксиддисмутаза) и увеличением каталазы в большей степени связаны со способностью кумаринов снижать окислительный стресс (в системах *in vitro* и *ex vivo*) [29, с. 7], ингибированием липоксигеназы и способностью поглощать гидроксильные радикалы [17, с. 5].

Недавно открыта семиохимическая роль кумаринов в надземных и подземных взаимодействиях растений и микробов и сборке корневого микробиома [13, с.830; 27, с.251]. В этой связи необходимо дальнейшее исследование в части влияния кумарина на микробиом кишечника сельскохозяйственной птицы.

## Выводы

1. Включение в рацион 7-гидроксикумарина в дозе 2 мг/кг корма /сут, способствовало увеличению живой массы (на 19,4%; р $\leq$ 0,05) цыплят-бро-

йлеров, поедаемости корма, убойного выхода (на 3,3%), на фоне более низкого расхода корма на прирост 1 кг живой массы.

2. Включение в рацион 7-гидроксикумарина в дозе 2 мг/кг корма /сут, положительно повлияло на показатели печени (снижение уровня АЛТ ( $p \leq 0,05$ ), общего билирубина ( $p \leq 0,05$ )), липидный и азотистый обмен (снижение уровня триглицеридов ( $p \leq 0,05$ ) и мочевины), и значения белых клеток крови (снижение нейтрофилов, моноцитов, эозинофилов, базофилов), на фоне увеличения железа.

3. Увеличился антиоксидантный статус организма цыплят-бройлеров, что выражалось в снижении активности супероксиддисмутазы и уровня малонового диальдегида в сыворотке крови во всех опытных группах, на фоне увеличения активности каталазы, по сравнению с контрольной группой.

**Заключение комитета по этике.** Содержание птицы и процедуры при выполнении экспериментов соответствовали требованиям инструкций и рекомендациям российского регламента (Приказ МЗ СССР № 755 от 12.08.1977) и The Guide for Care and Use of Laboratory Animals (National Academy Press, Washington, D.C., 1996). Были предприняты все усилия, чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшить число используемых образцов.

**Информированное согласие.** Не применимо.

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

**Информация о спонсорстве.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-16-00036, <https://rscf.ru/project/22-16-00036/>

### **Список литературы**

1. Дускаев Г.К., Рахматуллин Ш.Г., Кван О.В. и др. Продуктивность птицы, биохимические значения крови: эффект *Bacillus cereus* и кумарин // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103, № 4. С. 197-209. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-103-4-197>
2. Методические указания по оптимизации рецептов комбикормов для с.-х. птицы. Под ред. В.И. Фисинина, И.А. Егорова, Т.Н. Ленкова, Т.М. Околева. Москва: ВНИТИП, 2009. С. 80.
3. Albiero L.R., de Andrade M.F., Marchi L.F., Landi-Librandi A.P., de Figueiredo-Rinhel A.S.G., Carvalho C.A., Kabeya L.M., de Oliveira R.D.R., Azzolini A.E.C.S., Pupo M.T., da Silva Emery F., Lucisano-Valim Y.M. Immunomodu-

- lating action of the 3-phenylcoumarin derivative 6,7-dihydroxy-3-[3',4'-methylenedioxyphenyl]-coumarin in neutrophils from patients with rheumatoid arthritis and in rats with acute joint inflammation // *Inflammation Research*. 2020. Vol. 69(1). P. 115-130. <https://doi.org/10.1007/s00011-019-01298-w>
4. Annunziata F., Pinna C., Dallavalle S., Tamborini L., Pinto A. An Overview of Coumarin as a Versatile and Readily Accessible Scaffold with Broad-Ranging Biological Activities // *International Journal of Molecular Sciences*. 2020. Vol. 21(13). P. 1-81. <https://doi.org/10.3390/ijms21134618>
  5. Blanc M., Cormier B., Hyötyläinen T., Krauss M., Scherbak N., Cousin X., Keiter S.H. Multi- and transgenerational effects following early-life exposure of zebrafish to permethrin and coumarin 47: Impact on growth, fertility, behavior and lipid metabolism // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2020. Vol. 205(111348). P. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111348>
  6. Carneiro A., Matos M.J., Uriarte E., Santana L. Trending Topics on Coumarin and Its Derivatives in 2020 // *Molecules*. 2021. Vol. 26(2). P. 1-15. <https://doi.org/10.3390/molecules26020501>
  7. Chavan R.R., Hosamani K.M. Microwave-assisted synthesis, computational studies and antibacterial/ anti-inflammatory activities of compounds based on coumarin-pyrazole hybrid // *Royal Society Open Science*. 2018. Vol. 5(5). P. 1-16. <https://doi.org/10.1098/rsos.172435>
  8. Cheng P., Ishfaq M., Yu H., Yang Y., Li S., Li X., Fazlani S.A., Guo W., Zhang X. Curcumin ameliorates duodenal toxicity of AFB1 in chicken through inducing P-glycoprotein and downregulating cytochrome P450 enzymes // *Poultry Science*. 2020. Vol. 99(12). P. 7035-7045. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.09.055>
  9. Deryabin D., Inchagova K., Rusakova E., Duskaev G. Coumarin's anti-quorum sensing activity can be enhanced when combined with other plant-derived small molecules // *Molecules*. 2021. Vol. 26(208). P. 1-10. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES26010208>
  10. Fan H., Gao Z., Ji K., Li X., Wu J., Liu Y., Wang X., Liang H., Liu Y., Li X., Liu P., Chen D., Zhao F. The *in vitro* and *in vivo* anti-inflammatory effect of osthole, the major natural coumarin from *Cnidium monnieri* (L.) Cuss, via the blocking of the activation of the NF- $\kappa$ B and MAPK/p38 pathways // *Phytomedicine*. 2019. Vol. 58. P. 152864. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2019.152864>
  11. Feng D., Zhang A., Yang Y., Yang P. Coumarin-containing hybrids and their antibacterial activities // *Archiv der Pharmazie*. 2020. Vol. 353(6). P. e1900380. <https://doi.org/10.1002/ardp.201900380>
  12. Frasao B., Costa M., Silva F., Rodrigues B., Baltar J., Araujo J., Moreira D., Torrezan R., Conte-Junior C. Effect of pequi (*Caryocar brasiliense*) and juçara (*Eu-*

- terpe edulis*) waste extract on oxidation process stability in broiler meat treated by UV-C // PLoS One. 2018. Vol. 13(12). P. 1-25. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208306>
13. Harbort C.J., Hashimoto M., Inoue H., Niu Y., Guan R., Rombolà A.D., Kopriva S., Voges M.J.E.E.E., Sattely E.S., Garrido-Oter R., Schulze-Lefert P. Root-Secreted Coumarins and the Microbiota Interact to Improve Iron Nutrition in Arabidopsis // Cell Host and Microbe. 2020. Vol. 28(6). P. 825-837. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2020.09.006>
  14. Hassan A.A., Abu Hafsa S.H., Elghandour M.M.M.Y., Kanth Reddy P.R., Monroy J.C., Salem A.Z.M. Dietary Supplementation with sodium bentonite and coumarin alleviates the toxicity of aflatoxin B1 in rabbits // Toxicon. 2019. Vol. 171. P. 35-42. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2019.09.014>
  15. Iida A., Matsushita M., Ohta T., Yamada T. Conventional and novel impacts of ferric citrate on iron deficiency anemia and phosphorus metabolism in rats // Journal of Veterinary Medical Science. 2020. Vol. 82(3). P. 379-386. <https://doi.org/10.1292/jvms.19-0641>
  16. Kalia V.C., Patel S.K.S., Lee J.K., Shim W.Y., Gong C. Recent developments in antimicrobial growth promoters in chicken health: Opportunities and challenges // Science of The Total Environment. 2022. Vol. 834. P. 155300. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155300>
  17. Katopodi A., Tsotsou E., Iliou T., Deligiannidou G.E., Pontiki E., Kontogiorgis C., Tsopelas F., Detsi A. Synthesis, Bioactivity, Pharmacokinetic and Biomimetic Properties of Multi-Substituted Coumarin Derivatives // Molecules. 2021. Vol. 26(19). P. 1-22. <https://doi.org/10.3390/molecules26195999>
  18. Li S., Wang B., Zhang M., Yuan D., Li J., Li X., Liang G. Effects of berberine on the pharmacokinetics of florfenicol and levels of cytochrome P450 3A37, multidrug resistance 1, and chicken xenobiotic-sensing orphan nuclear receptor mRNA expression in broilers // Veterinary Medicine and Science. 2022. Vol. 8(2). P. 619-625. <https://doi.org/10.1002/vms3.660>
  19. Liu H.S., Mahfuz S.U., Wu D., Shang Q.H., Piao X.S. Effect of chestnut wood extract on performance, meat quality, antioxidant status, immune function, and cholesterol metabolism in broilers // Poultry Science. 2020. Vol. 99(9). P. 4488-4495. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.05.053>
  20. Ma J., Li C.J., Yang J.Z., Sun H., Zhang D.M. New Phenylpropanoid and Coumarin Glycosides from the Stems of *Hydrangea paniculata* Sieb // Molecules. 2017. Vol. 22(1). P. 1-12. <https://doi.org/10.3390/molecules22010133>
  21. Mu C., Wu M., Li Z. Anti-Inflammatory Effect of Novel 7-Substituted Coumarin Derivatives through Inhibition of NF-κB Signaling Pathway // Chem-

- istry and Biodiversity. 2019. Vol. 16(3). P. e1800559. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201800559>
22. Murayama N., Yamazaki H. Metabolic activation and deactivation of dietary-derived coumarin mediated by cytochrome P450 enzymes in rat and human liver preparations // *The Journal of Toxicological Sciences*. 2021. Vol. 46(8). P. 371-378. <https://doi.org/10.2131/jts.46.371>
23. Pei Q., Hu P., Zhang H., Li H., Yang T., Liu R. Daphnetin exerts an anticancer effect by attenuating the pro-inflammatory cytokines // *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*. 2021. Vol. 35(6). P. 1-8. <https://doi.org/10.1002/jbt.22759>
24. Petrovic V., Marcincak S., Popelka P., Simkova J., Martonova M., Buleca J., Marcincakova D., Tuckova M., Molnar L., Kovac G. The effect of supplementation of clove and agrimony or clove and lemon balm on growth performance, antioxidant status and selected indices of lipid profile of broiler chickens // *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2012. Vol. 96(6). P. 970-977. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2011.01207.x>
25. Qin H.L., Zhang Z.W., Ravindar L., Rakesh K.P. Antibacterial activities with the structure-activity relationship of coumarin derivatives // *European Journal of Medicinal Chemistry*. 2020. Vol. 207. P. 112832. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2020.112832>
26. Ren F.J., Gutiérrez-Barranquero J.A., Parages M.L., O Gara F. Coumarin: a novel player in microbial quorum sensing and biofilm formation inhibition // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2018. Vol. 102(5). P. 2063-2073. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-8787-x>
27. Robe K., Izquierdo E., Vignols F., Rouached H., Dubos C. The Coumarins: Secondary Metabolites Playing a Primary Role in Plant Nutrition and Health // *Trends in Plant Science*. 2021. Vol. 26(3). P. 248-259. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.10.008>
28. Salem Rashed Alyileili, Khaled El-Tarabily, Wissam Hachem Ibrahim, Mohsin Sulaiman, Ahmed Soliman Hussein. Effect of *Trichoderma reesei* Degraded Date Pits Supplementation on Growth Performance, Immunoglobulin Levels, and Intestinal Barrier Functions of Broiler Chickens // *Recent Patents on Food, Nutrition and Agriculture*. 2020. Vol. 11(2). P. 168-181. <https://doi.org/10.2174/2212798410666190716163009>
29. Singh A.K., Patel P.K., Choudhary K., Joshi J., Yadav D., Jin J.O. Quercetin and Coumarin Inhibit Dipeptidyl Peptidase-IV and Exhibits Antioxidant Properties: In Silico, In Vitro, Ex Vivo // *Biomolecules*. 2020. Vol. 10(2). P. 1-14. <https://doi.org/10.3390/biom10020207>

30. Sranujit R.P., Noysang C., Tippayawat P., Kooltheat N., Luetragoon T., Usuwanthim K. Phytochemicals and Immunomodulatory Effect of *Nelumbo nucifera* Flower Extracts on Human Macrophages // *Plants (Basel)*. 2021. Vol. 10(10). P. 1-12. <https://doi.org/10.3390/plants10102007>
31. Stassen M.J.J., Hsu S.H., Pieterse C.M.J., Stringlis I.A. Coumarin Communication Along the Microbiome-Root-Shoot Axis // *Trends in Plant Science*. 2021. Vol. 26(2). P. 169-183. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.09.008>
32. Stringlis I., Ronnie de Jonge, Pieterse C. The Age of Coumarins in Plant-Microbe Interactions // *Plant and Cell Physiology*. 2019. P. 1405-1419. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcz076>
33. Stringlis I.A., de Jonge R., Pieterse C.M.J. The Age of Coumarins in Plant-Microbe Interactions // *Plant and Cell Physiology*. 2019. Vol. 60(7). P. 1405-1419. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcz076>
34. Tian D., Wang F., Duan M., Cao L., Zhang Y., Yao X., Tang J. Coumarin Analogues from the *Citrus grandis* (L.) Osbeck and Their Hepatoprotective Activity // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2019. Vol. 67(7). P. 1937-1947. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b06489>
35. Tufarelli V., Ghavami N., Nosrati M., Rasouli B., Isam T. Kadim, Ramírez L.S. The effects of peppermint (*Mentha piperita* L.) and chicory (*Cichorium intybus* L.) in comparison with a prebiotic on productive performance, blood constituents, immunity and intestinal microflora in broiler chickens // *Animal biotechnology*. 2022. P. 1-7. <https://doi.org/10.1080/10495398.2022.2130798>
36. Verbon E.H., Trapet P.L., Stringlis I.A., Kruijs S., Bakker P.A.H.M., Pieterse C.M.J. Iron and Immunity // *Annual Review of Phytopathology*. 2017. Vol. 55. P. 355-375. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080516-035537>
37. Yin J., Wang H., Lu G. Umbelliferone alleviates hepatic injury in diabetic db/db mice via inhibiting inflammatory response and activating Nrf2-mediated antioxidant // *Bioscience Reports*. 2018. Vol. 38(4). P. 1-17. <https://doi.org/10.1042/BSR20180444>
38. Zhang S., Ma J., Sheng L., Zhang D., Chen X., Yang J., Wang D. Total Coumarins from *Hydrangea paniculata* Show Renal Protective Effects in Lipopolysaccharide-Induced Acute Kidney Injury via Anti-inflammatory and Antioxidant Activities // *Frontiers in Pharmacology*. 2017. Vol. 8. P. 1-16. <https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00872>

### References

1. Duskaev G.K., Rakhmatullin Sh.G., Kvan O.V. i dr. Produktivnost' ptitsy, biokhimicheskie znacheniya krovi: effekt *Bacillus cereus* i kumarin [Bird productivity, biochemical values of blood: effect of *Bacillus cereus* and coumarin]

- blood biochemical values: effect of *Bacillus cereus* and coumarin]. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo* [Animal husbandry and fodder production], 2020, vol. 103, no. 4, pp. 197-209. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-103-4-197>
2. Fisinina V.I., Egorova I.A., Lenkova T.N., Okolelova T.M. *Metodicheskie ukazaniya po optimizatsii retseptov kombikormov dlya s.-kh. ptitsy* [Methodical instructions on optimization of recipes for mixed fodders for agricultural poultry]. Moscow: VNITIP, 2009, 80 p.
  3. Albiero L.R., de Andrade M.F., Marchi L.F., Landi-Librandi A.P., de Figueiredo-Rinhel A.S.G., Carvalho C.A., Kabeya L.M., de Oliveira R.D.R., Azzolini A.E.C.S., Pupo M.T., da Silva Emery F., Lucisano-Valim Y.M. Immunomodulating action of the 3-phenylcoumarin derivative 6,7-dihydroxy-3-[3',4'-methylenedioxyphenyl]-coumarin in neutrophils from patients with rheumatoid arthritis and in rats with acute joint inflammation. *Inflammation Research*, 2020, vol. 69(1), pp. 115-130. <https://doi.org/10.1007/s00011-019-01298-w>
  4. Annunziata F., Pinna C., Dallavalle S., Tamborini L., Pinto A. An Overview of Coumarin as a Versatile and Readily Accessible Scaffold with Broad-Ranging Biological Activities. *International Journal of Molecular Sciences*, 2020, vol. 21(13), pp. 1-81. <https://doi.org/10.3390/ijms21134618>
  5. Blanc M., Cormier B., Hyötyläinen T., Krauss M., Scherbak N., Cousin X., Keiter S.H. Multi- and transgenerational effects following early-life exposure of zebrafish to permethrin and coumarin 47: Impact on growth, fertility, behavior and lipid metabolism. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2020, vol. 205(111348), pp. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111348>
  6. Carneiro A., Matos M.J., Uriarte E., Santana L. Trending Topics on Coumarin and Its Derivatives in 2020. *Molecules*, 2021, vol. 26(2), pp. 1-15. <https://doi.org/10.3390/molecules26020501>
  7. Chavan R.R., Hosamani K.M. Microwave-assisted synthesis, computational studies and antibacterial/ anti-inflammatory activities of compounds based on coumarin-pyrazole hybrid. *Royal Society Open Science*, 2018, vol. 5(5), pp. 1-16. <https://doi.org/10.1098/rsos.172435>
  8. Cheng P., Ishfaq M., Yu H., Yang Y., Li S., Li X., Fazlani S.A., Guo W., Zhang X. Curcumin ameliorates duodenal toxicity of AFB1 in chicken through inducing P-glycoprotein and downregulating cytochrome P450 enzymes. *Poultry Science*, 2020, vol. 99(12), pp. 7035-7045. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.09.055>
  9. Deryabin D., Inchagova K., Rusakova E., Duskaev G. Coumarin's anti-quorum sensing activity can be enhanced when combined with other plant-derived small molecules. *Molecules*, 2021, vol. 26(208), pp. 1-10. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES26010208>

10. Fan H., Gao Z., Ji K., Li X., Wu J., Liu Y., Wang X., Liang H., Liu Y., Li X., Liu P., Chen D., Zhao F. The *in vitro* and *in vivo* anti-inflammatory effect of osthole, the major natural coumarin from *Cnidium monnieri* (L.) Cuss, via the blocking of the activation of the NF- $\kappa$ B and MAPK/p38 pathways. *Phytomedicine*, 2019, vol. 58, pp. 152864. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2019.152864>
11. Feng D., Zhang A., Yang Y., Yang P. Coumarin-containing hybrids and their antibacterial activities. *Archiv der Pharmazie*, 2020, vol. 353(6), pp. e1900380. <https://doi.org/10.1002/ardp.201900380>
12. Frasao B., Costa M., Silva F., Rodrigues B., Baltar J., Araujo J., Moreira D., Torrezan R., Conte-Junior C. Effect of pequi (*Caryocar brasiliense*) and juçara (*Euterpe edulis*) waste extract on oxidation process stability in broiler meat treated by UV-C. *PLoS One*, 2018, vol. 13(12), pp. 1-25. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208306>
13. Harbort C.J., Hashimoto M., Inoue H., Niu Y., Guan R., Rombolà A.D., Kopriva S., Voges M.J.E.E.E., Sattely E.S., Garrido-Oter R., Schulze-Lefert P. Root-Secreted Coumarins and the Microbiota Interact to Improve Iron Nutrition in Arabidopsis. *Cell Host and Microbe*, 2020, vol. 28(6), pp. 825-837. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2020.09.006>
14. Hassan A.A., Abu Hafsa S.H., Elghandour M.M.M.Y., Kanth Reddy P.R., Monroy J.C., Salem A.Z.M. Dietary Supplementation with sodium bentonite and coumarin alleviates the toxicity of aflatoxin B1 in rabbits. *Toxicon*, 2019, vol. 171, pp. 35-42. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2019.09.014>
15. Iida A., Matsushita M., Ohta T., Yamada T. Conventional and novel impacts of ferric citrate on iron deficiency anemia and phosphorus metabolism in rats. *Journal of Veterinary Medical Science*, 2020, vol. 82(3), pp. 379-386. <https://doi.org/10.1292/jvms.19-0641>
16. Kalia V.C., Patel S.K.S., Lee J.K., Shim W.Y., Gong C. Recent developments in antimicrobial growth promoters in chicken health: Opportunities and challenges. *Science of The Total Environment*, 2022, vol. 834, pp. 155300. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155300>
17. Katopodi A., Tsotsou E., Iliou T., Deligiannidou G.E., Pontiki E., Kontogiorgis C., Tsopeles F., Detsi A. Synthesis, Bioactivity, Pharmacokinetic and Biomimetic Properties of Multi-Substituted Coumarin Derivatives. *Molecules*, 2021, vol. 26(19), pp. 1-22. <https://doi.org/10.3390/molecules26195999>
18. Li S., Wang B., Zhang M., Yuan D., Li J., Li X., Liang G. Effects of berberine on the pharmacokinetics of florfenicol and levels of cytochrome P450 3A37, multidrug resistance 1, and chicken xenobiotic-sensing orphan nuclear receptor mRNA expression in broilers. *Veterinary Medicine and Science*, 2022, vol. 8(2), pp. 619-625. <https://doi.org/10.1002/vms3.660>

19. Liu H.S., Mahfuz S.U., Wu D., Shang Q.H., Piao X.S. Effect of chestnut wood extract on performance, meat quality, antioxidant status, immune function, and cholesterol metabolism in broilers. *Poultry Science*, 2020, vol. 99(9), pp. 4488-4495. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.05.053>
20. Ma J., Li C.J., Yang J.Z., Sun H., Zhang D.M. New Phenylpropanoid and Coumarin Glycosides from the Stems of *Hydrangea paniculata* Sieb. *Molecules*, 2017, vol. 22(1), pp. 1-12. <https://doi.org/10.3390/molecules22010133>
21. Mu C., Wu M., Li Z. Anti-Inflammatory Effect of Novel 7-Substituted Coumarin Derivatives through Inhibition of NF- $\kappa$ B Signaling Pathway. *Chemistry and Biodiversity*, 2019, vol. 16(3), pp. e1800559. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201800559>
22. Murayama N., Yamazaki H. Metabolic activation and deactivation of dietary-derived coumarin mediated by cytochrome P450 enzymes in rat and human liver preparations. *The Journal of Toxicological Sciences*, 2021, vol. 46(8), pp. 371-378. <https://doi.org/10.2131/jts.46.371>
23. Pei Q., Hu P., Zhang H., Li H., Yang T., Liu R. Daphnetin exerts an anticancer effect by attenuating the pro-inflammatory cytokines. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, 2021, vol. 35(6), pp. 1-8. <https://doi.org/10.1002/jbt.22759>
24. Petrovic V., Marcincak S., Popelka P., Simkova J., Martonova M., Buleca J., Marcincakova D., Tuckova M., Molnar L., Kovac G. The effect of supplementation of clove and agrimony or clove and lemon balm on growth performance, antioxidant status and selected indices of lipid profile of broiler chickens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2012, vol. 96(6), pp. 970-977. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2011.01207.x>
25. Qin H.L., Zhang Z.W., Ravindar L., Rakesh K.P. Antibacterial activities with the structure-activity relationship of coumarin derivatives. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 2020, vol. 207, pp. 112832. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2020.112832>
26. Reen F.J., Gutiérrez-Barranquero J.A., Parages M.L., O Gara F. Coumarin: a novel player in microbial quorum sensing and biofilm formation inhibition. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2018, vol. 102(5), pp. 2063-2073. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-8787-x>
27. Robe K., Izquierdo E., Vignols F., Rouached H., Dubos C. The Coumarins: Secondary Metabolites Playing a Primary Role in Plant Nutrition and Health. *Trends in Plant Science*, 2021, vol. 26(3), no. pp. 248-259. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.10.008>
28. Salem Rashed Alyileili, Khaled El-Tarabily, Wissam Hachem Ibrahim, Mohsin Sulaiman, Ahmed Soliman Hussein. Effect of *Trichoderma reesei* Degraded Date Pits Supplementation on Growth Performance, Immunoglobulin Levels, and Intestinal Barrier Functions of Broiler Chickens. *Recent Patents on Food*,

- Nutrition and Agriculture*, 2020, vol. 11(2), pp. 168-181. <https://doi.org/10.2174/2212798410666190716163009>
29. Singh A.K., Patel P.K., Choudhary K., Joshi J., Yadav D., Jin J.O. Quercetin and Coumarin Inhibit Dipeptidyl Peptidase-IV and Exhibits Antioxidant Properties: In Silico, *In Vitro*, *Ex Vivo*. *Biomolecules*, 2020, vol. 10(2), pp. 1-14. <https://doi.org/10.3390/biom10020207>
  30. Sranujit R.P., Noysang C., Tippayawat P., Kooltheat N., Luetragoon T., Usuwanthim K. Phytochemicals and Immunomodulatory Effect of *Nelumbo nucifera* Flower Extracts on Human Macrophages. *Plants (Basel)*, 2021, vol. 10(10), pp. 1-12. <https://doi.org/10.3390/plants10102007>
  31. Stassen M.J.J., Hsu S.H., Pieterse C.M.J., Stringlis I.A. Coumarin Communication Along the Microbiome-Root-Shoot Axis. *Trends in Plant Science*, 2021, vol. 26(2), pp. 169-183. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.09.008>
  32. Stringlis I., Ronnie de Jonge, Pieterse C. The Age of Coumarins in Plant-Microbe Interactions. *Plant and Cell Physiology*, 2019, pp. 1405-1419. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcz076>
  33. Stringlis I.A., de Jonge R., Pieterse C.M.J. The Age of Coumarins in Plant-Microbe Interactions. *Plant and Cell Physiology*, 2019, vol. 60(7), pp. 1405-1419. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcz076>
  34. Tian D., Wang F., Duan M., Cao L., Zhang Y., Yao X., Tang J. Coumarin Analogues from the *Citrus grandis* (*L.*) Osbeck and Their Hepatoprotective Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, vol. 67(7), pp. 1937-1947. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b06489>
  35. Tufarelli V., Ghavami N., Nosrati M., Rasouli B., Isam T. Kadim, Ramírez L.S. The effects of peppermint (*Mentha piperita L.*) and chicory (*Cichorium intybus L.*) in comparison with a prebiotic on productive performance, blood constituents, immunity and intestinal microflora in broiler chickens. *Animal biotechnology*, 2022, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1080/10495398.2022.2130798>
  36. Verbon E.H., Trapet P.L., Stringlis I.A., Kruijs S., Bakker P.A.H.M., Pieterse C.M.J. Iron and Immunity. *Annual Review of Phytopathology*, 2017, vol. 55, pp. 355-375. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080516-035537>
  37. Yin J., Wang H., Lu G. Umbelliferone alleviates hepatic injury in diabetic db/db mice via inhibiting inflammatory response and activating Nrf2-mediated antioxidant. *Bio-science Reports*, 2018, vol. 38(4), pp. 1-17. <https://doi.org/10.1042/BSR20180444>
  38. Zhang S., Ma J., Sheng L., Zhang D., Chen X., Yang J., Wang D. Total Coumarins from *Hydrangea paniculata* Show Renal Protective Effects in Lipopolysaccharide-Induced Acute Kidney Injury via Anti-inflammatory and Antioxidant Activities. *Frontiers in Pharmacology*, 2017, vol. 8, pp. 1-16. <https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00872>

**ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ**

**Дускаев Галимжан Калиханович**, доктор биологических наук, профессор РАН, первый заместитель директора  
*ФГБНУ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук*  
ул. 9 Января, 29, г. Оренбург, 460000, Российская Федерация  
*gduskaev@mail.ru*

**Климова Татьяна Андреевна**, младший научный сотрудник  
*ФГБНУ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук*  
ул. 9 Января, 29, г. Оренбург, 460000, Российская Федерация  
*klimovat91@mail.ru*

**DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Galimzhan K. Duskaev**, Dr. Sc. (Biological), Professor of the Russian Academy of Sciences, First Deputy Director  
*Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences*  
29, January 9, Orenburg, 460000, Russian Federation  
*gduskaev@mail.ru*  
SPIN-code: 7297-3319  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9015-8367>  
ResearcherID: N-4454-2014  
Scopus Author ID: 56192764700

**Tatyana A. Klimova**, Junior Researcher  
*Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences*  
29, January 9, Orenburg, 460000, Russian Federation  
*klimovat91@mail.ru*  
SPIN-code: 6761-9683  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4298-1663>  
ResearcherID: P-6241-2017  
Scopus Author ID: 57204863097

Поступила 06.12.2022

После рецензирования 19.12.2022

Принята 28.12.2022

Received 06.12.2022

Revised 19.12.2022

Accepted 28.12.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-219-238

УДК 632.4.01/08:632.952:632.95.025.8



Научная статья | Защита растений

## МОРФОТИПИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ К ДИФЕНОКОНАЗОЛУ ПОПУЛЯЦИЙ ВОЗБУДИТЕЛЯ ПАРШИ ЯБЛОНИ, РАЗЛИЧАЮЩИХСЯ ИСТОРИЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ФУНГИЦИДА

*А.И. Насонов, М.В. Бардак*

Парша – одно из самых вредоносных заболеваний основной семечковой культуры мира – яблони.

**Цель.** Оценить влияние фунгицида на структуру популяции *Venturia inaequalis* по чувствительности к дифеноконазолу и морфотипическому составу.

**Материалы и методы исследования.** Исследование проведено на 88 моноспорных изолятах, выделенных из двух популяций *V. inaequalis*. Исходная популяция не подвергалась обработкам фунгицидами, отобрана из природных станций *Malus orientalis*. Популяция из коммерческих садов яблони домашней испытывала ежегодные опрыскивания дифеноконазолом. Чувствительность изолятов оценивали в лабораторных условиях по росту мицелия при различных концентрациях фунгицида и выражали как эффективную 50 % концентрацию (ЭК50). Морфотипы выделяли путем сравнения фотоизображений изолятов с изображениями морфотипов в базе данных.

**Результаты.** Популяции различались по чувствительности к дифеноконазолу на высоком уровне значимости ( $p \leq 0,003$ ), их медианные значения ЭК50 составили 0,5 и 2,5 мг д. в./л. Фактор резистентности садовой популяции имел значение 22. Морфологический анализ изолятов также показал неравномерное распределение морфотипов в популяциях. Из 15 выделенных морфотипов 73 % были уникальны для той или иной популяции. Выявлена средняя положительная корреляция между признаками «морфотип» и «чувствительность к фунгициду».

**Заключение.** Впервые показано изменение структуры популяции *Venturia inaequalis* под влиянием фунгицида не только по признаку, находящемуся под давлением отбора (чувствительность), но и по эволюционно нейтральному признаку – морфотипическому составу.

**Ключевые слова:** чувствительность; *Venturia inaequalis*; морфотип; структура популяции; ЭК50; фактор резистентности

**Для цитирования.** Насонов А.И., Бардак М.В. Морфотипический состав и чувствительность к дифеноконазолу популяций возбудителя парши яблони, различающихся историей применения фунгицида // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №3. С. 219-238. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-219-238

Original article | Plant Protection

## MORPHOTYPIC COMPOSITION AND DIFENOCONAZOLE SENSITIVITY OF APPLE SCAB PATHOGEN POPULATIONS THAT DIFFER IN THE HISTORY OF FUNGICIDE APPLICATION

*A.I. Nasonov, M.V. Bardak*

*Scab is one of the most harmful diseases of the world's main fruit crop, the apple tree.*

**Purpose.** To evaluate the fungicide influence on the population structure of *Venturia inaequalis*, by its sensitivity to difenoconazole and morphotypic composition.

**Materials and methods.** The study was conducted on 88 monospore isolates isolated from two populations of *V. inaequalis*. The baseline population, which was not treated with fungicides, was selected from natural populations of *Malus orientalis*. A population of commercial apple orchards was treated with difenoconazole. The sensitivity of isolates was evaluated under laboratory conditions by mycelial growth at different fungicide concentrations and expressed as effective 50% concentration (EC50). Morphotypes were distinguished by comparing photo-images of isolates with morphotype images in a database.

**Results.** The populations differed in their sensitivity to difenoconazole at a high level of significance ( $p \leq 0.003$ ), with median EC50 values of 0.5 and 2.5 mg a.i./l. The resistance factor of the orchard population had a value of 22. Morphological analysis of the isolates also showed an uneven distribution of morphotypes in the populations. Of the 15 morphotypes isolated, 73 % were unique to a particular population. A medium positive correlation between the traits "morphotype" and "fungicide sensitivity" was found.

**Conclusion.** For the first time, a change in the population structure of *Venturia inaequalis* under the influence of a fungicide was shown not only for a trait under selection pressure (sensitivity), but also for an evolutionarily neutral trait, morphotypic composition.

**Keywords:** sensitivity; *Venturia inaequalis*; morphotype; population structure; EC50; resistance factor

**For citation.** Nasonov A.I., Bardak M.V. Morphotypic Composition and Difenoconazole Sensitivity of Apple Scab Pathogen Populations That Differ in the History of Fungicide Application. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 219-238. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-219-238

## Введение

Парша – одно из самых вредоносных заболеваний основной семечковой культуры мира – яблони. Микотическим агентом болезни является *Venturia inaequalis* (Cooke) Winter, который также инфицирует ряд растений из семейства розоцветных (*Rosaceae*), близких к роду *Malus*. Жизненный цикл патогена характеризуется двухстадийностью. На одной из стадий, конидиальной, происходит его распространение и мультипликация, а на другой, аскоспоровой, рекомбинация генетического материала. Наличие ежегодной половой стадии обеспечивает высокий приспособительный потенциал гриба и определяет его высокую внутривидовую изменчивость [14]. Частое эпифитотийное развитие парши яблони отмечается в северо-западных областях РФ, а также на Северном Кавказе. В связи с климатическими изменениями в течение последних двадцати лет отмечается увеличение вирулентности и агрессивности популяции патогена в регионе [13]. Потери от заболевания в сезоны, благоприятствующие её развитию на слабоустойчивых сортах, составляют 8-12 т/га [13].

Получения урожая, отвечающего качественным и количественным требованиям производства плодов, обусловлено тщательным контролем за развитием патогена. Важнейшим компонентом интегральной системы защиты яблони от парши является химический метод, заключающийся в применении высокотоксичных веществ против возбудителя болезни. Его эффективность во многом определяется правильным использованием фунгицидов с соблюдением всех регламентов: нормы расхода препарата, сроков, кратности применения, чередования действующих веществ и др. Между тем со временем даже при строгом соблюдении правил их применения эффективность программ защиты может снижаться, либо они полностью перестают контролировать развитие патогена. Причиной этого является развитие у патогенного гриба резистентности к действующему веществу препарата [13, 14, 15, 16]. Развитие резистентности у фитопатогенов к пестицидам требует постоянный поиск и создание новых средств защиты против них [4].

Резистентность *Venturia inaequalis* к различным классам химических веществ таких, как бензимидазолы, стробилурины и триазолы, в той или иной степени была зафиксирована во многих популяциях патогена в мире [5, 24, 25, 26, 27, 28], в том числе и на территории РФ, в Краснодарском крае [8, 9]. Фунгицид класса ингибиторов деметилирования (англ. DMI, Demethylation Inhibitors) дифеноконазол, который начали использовать в регионе с 90-х гг. прошлого столетия, до сих пор применяется при защите против возбудителя парши яблони, однако продолжительность его защитного действия за это время сократилась с 21 дня до 8 суток [13]. В недавних исследованиях показано снижение чувствительности агроценотической популяции *V. inaequalis* и повышение доли резистентных изолятов в ней [8].

Устойчивость к фунгицидам – это эволюционный процесс, основанный на мутациях, потоке генов, генетическом дрейфе и отборе, позволяющем определенным организмам выживать при воздействии химических веществ и увеличивать свою частоту в популяции. Формы, несущие генетические мутации или естественные изменения, дающие сдвиг в чувствительности к действующему веществу, подвергаются отбору фунгицидом. Повторные раунды отбора (обработки) приводят к увеличению доли устойчивых форм в популяции. Когда частота резистентных индивидуумов становится преобладающей, по сравнению с частотой чувствительной части популяции, эффективность препарата снижается [12].

Очевидно, что селективное действие фунгицидов на часть изолятов в популяции будет приводить к изменению частоты встречаемости мутаций, определяющих устойчивость к токсическому действию химических веществ. Однако в настоящее время отсутствуют исследования, свидетельствующие об изменении под их влиянием популяционной структуры патогена в целом. Ранее, с использованием молекулярно-генетических подходов, были показаны высокая степень внутрипопуляционного разнообразия и низкая дифференциация между популяциями [11, 19, 20, 23, 28, 30]. Стабильности достаточно протяжённых популяций *V. inaequalis* способствует свободный поток генов, обусловленный хозяйственной деятельностью человека, связанной с интродукцией зараженного посадочного материала [19, 20]. Также изучение популяционной структуры микромицета проводили с использованием нейтральных фенотипических признаков, показавших высокую внутрипопуляционную подразделённость популяции [1, 2, 10].

Цель работы – оценить влияние фунгицида на структуру популяции *Venturia inaequalis* по чувствительности к дифеноконазолу и морфотипическому составу. Согласно цели, были поставлены следующие задачи:

оценить чувствительность изолятов возбудителя парши яблони к дифеноконазолу; выявить структуру популяции патогена на основе выявления морфотипов его моноспоровых изолятов; сопоставить структуру популяции по признакам чувствительности к фунгициду и морфолого-культуральным типам.

### **Материалы и методы исследования**

**Отбор образцов.** Отбор проводили в весенне-летний период 2020-2021 гг. в Краснодарском крае. Отбирали свежие листья яблони домашней (*Malus domestica* Borkh.) и яблони восточной (*Malus orientalis* Uglitzk) с симптомами поражения паршой или листовой опад тех же растений-хозяев с созревшими псевдотециями патогена. При отборе придерживались следующего алгоритма: с одного дерева брали 1 лист с поражением, а общий объём выборки в одной точке отбора был больше 50 листьев. Свежие листья подсушивали 2 суток и до проведения процедуры выделения чистых культур *V. inaequalis* хранили при +4°C.

**Выделение чистых культур патогена.** Изоляты патогена выделяли из его конидиальных или аскоспоровых поражений. Из аскоспоровых поражений, представляющих собой псевдотеции на листовом опаде яблони, получение изолятов проводили с использованием способа, предложенного Насоновым [7]. Для этого образец обрабатывали минуту 70%-м раствором  $C_2H_5OH$ , а после 3%-м раствором  $H_2O_2$ . Промытый стерильной водой лист помещали в крышку перевернутой чашки Петри, содержащей водный агар и инкубировали 14 ч при 18-20°C. Отдельные споры с ростковой трубкой находили под микроскопом при 40-кратном увеличении и переносили на картофельно-глюкозный агар, содержащий 50 мг/л антибиотика (тетрациклина гидрохлорид, PanRec-AppliChem). Картофельно-глюкозный агар (КГА) на литр воды содержал: картофельный отвар (200 г картофеля) и по 20 г глюкозы и агара-агара.

Моноконидиальные изоляты из свежих листьев получали по общепринятой методике [22].

Полученный с использованием различных методик посев одной спорой инкубировали в течение 30 суток при 20°C в темноте и визуально оценивали на штаммовую чистоту. При выявлении разнородных по цвету и структуре секторов культуры изолят исключали из выборки.

Различающиеся по морфолого-культуральным характеристикам изоляты маркировали, пересекали на свежую среду и фотографировали фотоаппаратом Canon ixus 175 при дневном освещении в отражённом свете.

*Оценка чувствительности чистых культур патогена.* Чувствительность определяли в чашках Петри диаметром 90 мм (Plastilab, Ливан) на КГА. В опытные варианты питательной среды добавляли дифеноконазол (препарат СКОР, КЭ, 250 мг/л, «Сингента», Швейцария) в концентрации 0,005; 0,01; 0,025; 0,05; 0,5 и 1 мг д. в./л. В контрольный вариант среды вместо фунгицида добавляли тот же объём стерильной воды. Фунгицид добавляли в среду, имеющую температуру около 50°C, сразу после стерилизации. Контрольные и опытные чашки инокулировали блоком мицелия диаметром 5 мм, который вырезали пробковым сверлом из активно растущей зоны моноспорового изолята. Повторность эксперимента двукратная. Посевы инкубировали при 20°C. Через 30 суток измеряли диаметр роста мицелия культуры и выражали его в процентах от среднего диаметра контрольного образца [22].

Чувствительность изолята выражали как ЭК<sub>50</sub> (50% эффективная концентрация) с использованием метода пробит-анализа [18]. ЭК<sub>50</sub> – концентрация действующего вещества, которая ингибирует радиальный рост чистой культуры в два раза. Фактор резистентности (RF, resistance factor) рассчитывали путем деления средних значений ЭК<sub>50</sub> популяции, подвергавшейся влиянию фунгицида, на среднее значение ЭК<sub>50</sub> популяции, не испытывавшей такого влияния. Рассчитываемый показатель определяет уровень развития устойчивости (резистентности) к фунгициду.

*Морфотипический анализ чистых культур патогена.* Морфотипы выделяли путем сравнения фотоизображений изолятов с изображениями морфотипов в базе данных [6].

*Характеристика популяций.* Для исследования отобраны две популяции возбудителя парши яблони, различавшихся местом отбора, видом растения-хозяина, типом экосистемы и историей применения пестицидов. Всего в каждой из популяций было выделено по 44 моноспоровых изолята патогена, таким образом, общий объём выборки чистых культур составил 88 изолятов. Популяция 1 выделена с яблони восточной в естественных экосистемах её произрастания: на опушках и вырубках леса в предгорной части в районе ст. Натухаевской. Она являлась исходной популяцией, так как никогда не подвергалась воздействию пестицидов. Популяция 2 – в садовых хозяйствах Красноармейского района. В хозяйствах проводятся плановые защитные мероприятия с применением пестицидов; фунгициды из химической группы ингибиторов деметилирования использовали 3 раза за сезон.

*Статистическая обработка результатов.* Для оценки различий между популяциями по морфотипическому составу использовали популяционные показатели Л. А. Животовского: фенотипическое разнообразие ( $\mu$ ),

коэффициент сходства ( $r$ ) и коэффициент идентичности ( $I$ ) [3]. При этом достоверность полученных значений учитывали на пятипроцентном уровне значимости. Распределение соответствовало критерию  $\chi^2$  со степенями свободы, равными  $m-1$ . Если полученное значение критерия идентичности превышало табличное значение  $\chi^2$  для однопроцентного уровня значимости, то различия между популяциями считались достоверными.

Для оценки разницы между значениями  $ЭК_{50}$ , характеризовавших чувствительность исследуемых популяций к дифеноконазолу, был применён непараметрический критерий Манна-Уитни, так как распределение значений было не нормальным. Взаимосвязь между признаками «морфотип» и «чувствительность» оценивали с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Расчёты проводились в программе Statistica 10 и Microsoft Excel. Полученное эмпирическое значение было статистически достоверным на пятипроцентном уровне значимости.

### Результаты и обсуждение

*Чувствительность популяций к фунгициду.* Проведённый анализ 88 моноспоровых изолятов показал, что чувствительность изученных популяций изменялась в широком диапазоне значений  $ЭК_{50}$ . Чувствительность исходной популяции к дифеноконазолу варьировала от 0,00002 до 0,085 мг/л (таблица 1).

Таблица 1.

**Чувствительность популяций *Venturia inaequalis* к дифеноконазолу,  $ЭК_{50}$ , мг д. в./л**

Популяция	Среднее $ЭК_{50}$	Диапазон $ЭК_{50}$	Фактор разделения	Фактор резистентности
1	0,015	0,00002–0,085	4250,0	–
2	0,330	0,002–3,321	1660,5	22

**Примечания:** популяция 1 – исходная популяция, не подвергавшаяся ранее воздействию фунгицидов; популяция 2 – популяция промышленного насаждения, обрабатываемая дифеноконазолом 3 раза за сезон.

Фактор разделения составил 4250 (соотношение между крайними значениями чувствительности в популяции). На основе сравнения полученных средних значений  $ЭК_{50}$  исходных популяций, которые не подвергались ранее воздействию фунгицидов, можно сделать выводы о наличии различий в проявлении чувствительности к дифеноконазолу, показывающих базовое разнообразие популяции по этому признаку.

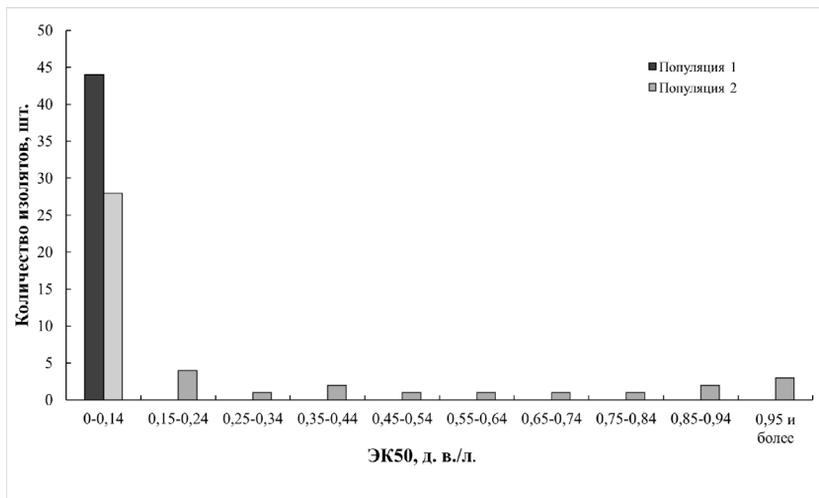
В данном исследовании среднее значение  $ЭК_{50}$  для исходной популяции, отобранной на яблоне восточной (*Malus orientalis*) в станице Натухавевской, составило 0,015 мг/л. Это значение было выше среднего значения  $ЭК_{50}$  исходной популяции Северского района Краснодарского края (0,0078 мг/л), а также средних значений  $ЭК_{50}$  для популяций парши яблони Италии (0,0075 мг/л) и США (0,002 мг/л) [8, 17, 29]. Более высокий показатель среднего  $ЭК_{50}$  был получен в работе, проведённой в Латинской Америке (0,0286 мг/л) [25].

Среднее значение  $ЭК_{50}$  моносортовой популяции, обрабатываемой дифеноконазолом, составило 0,33 мг/л. Чувствительность варьировала в широком диапазоне значений (0,002–3,321 мг/л). Фактор разделения соответствовал 1660,5, это значение в 2,6 раза меньше фактора разделения исходной популяции, что свидетельствует о потере чувствительности у изолятов к дифеноконазолу и отсутствию изолятов менее чувствительных, чем в исходной популяции. Такая же тенденция снижения значения фактора разделения у популяции *V. inaequalis* промышленного насаждения по сравнению с исходной популяцией была отмечена в работе у исследователей из Чили [21].

Для оценки развития у популяций возбудителя парши яблони резистентности к фунгицидам применяют показатель резистентности (RF). Чем выше у популяции значение RF, тем менее чувствительны изоляты популяции к фунгициду. В данном исследовании показатель резистентности составил 22, что значительно выше показателей резистентности, приведенных в работах из Чили (4,7) и Уругвая (6,6; 17,4) [21, 25], однако оказалось близко к значениям RF (32, 16), описанных авторами другого исследования, проведенного в Краснодарском крае [8]. Что может свидетельствовать о тенденции повсеместного развития резистентности у обрабатываемых дифеноконазолом популяций возбудителя парши яблони в агроценозах промышленных насаждений региона.

Распределение значений  $ЭК_{50}$  популяций представлено на рисунке 1.

Значения  $ЭК_{50}$  изолятов *Venturia inaequalis* исходной популяции не превышали 0,1 мг д. в./л. и были сосредоточены в левой части диаграммы (рисунок 1). Для данной популяции была характерна высокая чувствительность изолятов к дифеноконазолу. У популяции промышленного насаждения была отмечена динамика роста резистентности у изолятов к дифеноконазолу. В данной популяции встречались изоляты возбудителя парши яблони, которые превышали значение  $ЭК_{50}$ , равное 0,8 мг д. в./л.



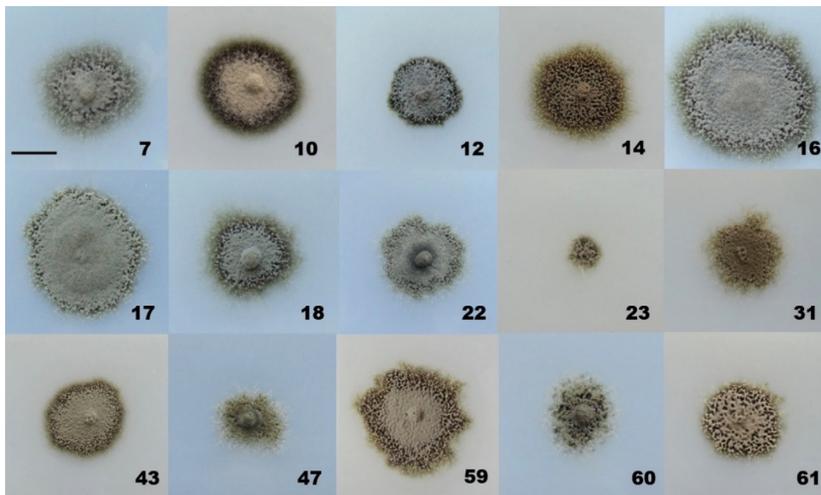
**Примечание:** популяция 1 – исходная популяция, не подвергавшаяся ранее воздействию фунгицидов; популяция 2 – популяция промышленного насаждения, обрабатываемая дифеноконазолом трёхкратно за сезон.

**Рис. 1.** Частота встречаемости изолятов *Venturia inaequalis* из двух популяций с различными значениями ЭК<sub>50</sub> для дифеноконазола

Для оценки статистической разницы между чувствительностью популяций к дифеноконазолу был применён критерий Манна-Уитни, относящийся к непараметрической статистике, так как по результатам теста Шапиро-Уилка распределение выборок было ненормальным ( $W=0,5936$ ,  $P<0,05$  для агропопуляции и  $W=0,4657$ ,  $P<0,05$  для исходной популяции). Согласно данному критерию, случайно выбранное значение популяции 1 считается неравным случайно выбранному значению популяции 2 на высоком уровне значимости ( $p\leq 0,003$ ), что подтверждает предположения о существенных различиях в чувствительности исследуемых популяций *Venturia inaequalis* к дифеноконазолу. Медианные значения двух сравниваемых популяций составили 0,5 и 2,5 мг д. в./л.

Результаты проведенного исследования показали, что у популяции *V. inaequalis* моносортного промышленного насаждения яблони домашней развивается резистентность к дифеноконазолу, но также было отмечено наличие чувствительных к данному фунгициду изолятов. Для выявления влияния применения фунгицида на популяционную структуру патогена был оценён морфотипический состав популяций.

*Морфотипический состав популяций.* В результате анализа моноспоровых изолятов было выделено 15 морфологических типов патогена. Морфотипы различались комплексом из десяти морфолого-культуральных характеристик, среди которых наиболее важными были размер, форма, профиль, особенности края колонии, а также фактура основного воздушного мицелия и характеристика центрального бугорка (рисунок 2).



**Рис. 2.** Морфотипы возбудителя парши яблони

Размер бара равен 10 мм. Номер морфотипа согласно работам [6, 10].

В популяции 1 (исходная популяция) наиболее распространёнными морфотипами были № 16, 17, 18, 60, при этом три последних из них встречались только в этой выборке. В другой популяции, которая была выделена из садового насаждения и испытывала воздействие фунгицида, количественно преобладали другие морфотипы – № 14, 23, 32 и 61. Морфотипы № 59, 60 и 61 были выделены впервые.

Встречаемость морфотипов в общей изученной выборке патогена, представленной 88 изолятами, была неодинаковой (таблица 2).

Наибольшее количество изолятов было отнесено к морфотипам № 16 и 14, их доля от общего числа изолятов составила 12,5 и 11,4 % соответственно. Морфотипы № 18, 23 и 61 составили 10,2 % для каждой группы. Доля морфотипов № 17 и 60 соответствовала 9,1 %. Наименьшее количество изолятов было представлено в 7, 12, 47, 59, 10 и 31 группах мор-

фологических типов. Ранее при исследовании морфолого-культуральной дифференциации 80 изолятов из различных садовых насаждений Краснодарского края была показана высокая частота встречаемости морфотипов № 11, 14, 16, 18 и 23 [10].

Таблица 2.

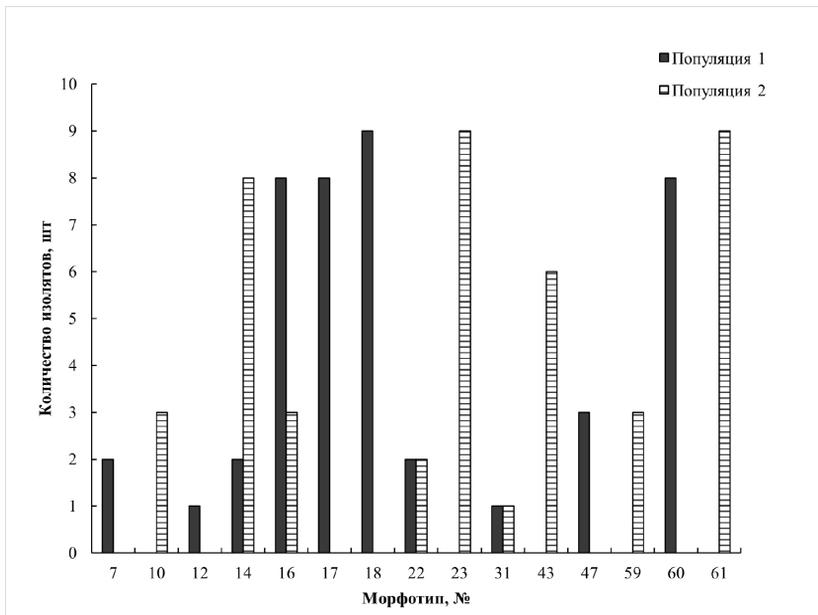
Доля различных морфотипов *Venturia inaequalis*, выделенных из популяции яблони восточной и из популяции яблони домашней сорта Ренет Симиренко

№	Морфотип, №	Количество изолятов, шт.	Доля морфотипа, %
1	18	9	10,2
2	16	11	12,5
3	60	8	9,1
4	17	8	9,1
5	12	1	1,1
6	7	2	2,3
7	47	3	3,4
8	22	4	4,6
9	14	10	11,4
10	23	9	10,2
11	43	6	6,8
12	59	3	3,4
13	10	3	3,4
14	61	9	10,2
15	31	2	2,3

**Примечание:** Номер морфотипа приводится по публикациям [6, 10].

Также варьировала частота встречаемости морфотипов и их представленность в различных популяциях (рисунок 3).

Расчёт популяционных показателей Животовского выявил вероятное различие между изученными популяциями на уровне значимости  $p \leq 0,01$ . Так, показатель сходства ( $r$ ) между популяциями оказался очень низким, 0,28, при этом коэффициент идентичности ( $I$ ) составил 65,72 при табличном значении  $\chi^2 = 29,1$ . Величина  $r$  может изменяться от 0 до 1, и при значении 0 популяции являются абсолютно не идентичными, тогда как 1 означает отсутствие каких-либо отличий между ними. В работе отечественных авторов [10] изучали морфотипический состав изолятов *V. inaequalis*, выделенных из 4 различных промышленных садов, и показали отсутствие достоверных различий по показателю сходства между изученными популяциями.



**Рис. 3.** Частота встречаемости морфотипов в популяциях *Venturia inaequalis*

Различались популяции также ещё одним показателем, а именно средним числом морф ( $\mu$ ). Для исходной популяции он оказался выше, чем у агроценотической, и составил  $8,6 \pm 0,52$  и  $8,1 \pm 0,40$  соответственно.

*Влияние применения фунгицида на структуру популяции.* Полученные данные показывают, что применение фунгицидов, в частности, дифеноконазола, может приводить к изменению популяционной структуры патогена, выражающейся в достоверном изменении морфотипического состава в «фунгицидной» популяции относительно исходной. Так, под воздействием фунгицида, вероятно, происходила элиминация части морфотипов (№ 7, 17, 18, 47 и 60; рисунок 3), характерных для чувствительных изолятов патогена, и развитие другой части морфотипов (№ 10, 23, 32, 59 и 61; рисунок 3), проявивших устойчивость к токсиканту. Также более низкое значение количества средних морф ( $\mu$ ) в популяции, испытывавшей воздействие фунгицида, указывает на обеднение фенотипического разнообразия данной популяции в результате гибели части особей. Средняя положительная связь между морфотипом и значениями ЭК<sub>50</sub> была подтверждена с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена ( $r_s = 0,499$ ;

$p$  (2-tailed) = 0). Можно предположить, что морфотипы, встречающиеся в исходной популяции, должны отсутствовать или быть редки в агроценологических популяциях патогена. Однако в ранее выполненных исследованиях популяций патогена, выделенных из различных промышленных насаждений яблони, в которых проводились ежегодные защитные мероприятия против парши, была показана высокая частота морфотипа № 18, оказавшегося часто встречаемым и уникальным морфотипом для изучаемой в текущей работе исходной популяции гриба [10]. Кроме этого, анализ значений  $ЭК_{50}$  для морфотипов, которые встречались и в «фунгицидной» и в исходной популяциях, показал неоднозначность связи «морфотип» / «уровень чувствительности» (данные не приводятся). Так, морфотип № 16, который был представлен в исходной популяции 8 изолятами, имевшими значения  $ЭК_{50}$  в диапазоне от 0,002 до 0,079 мг д.в./л, в садовой популяции имел 3 изолята с максимальными для всей изученной выборки изолятов показателями  $ЭК_{50}$  – 1,198- 3,321 мг д.в./л.

### Заключение

Проведённые на 88 изолятах исследования показали существенные различия в структуре популяций *Venturia inaequalis*, различавшихся историей применения фунгицидов, как по чувствительности к дифеноконазолу, что ожидаемо, так и по морфотипическому составу. Для популяции, ежегодно обрабатываемой химическими препаратами, в том числе на основе триазолов, отмечено существенное снижение чувствительности, что подтверждает ранее полученные нами результаты. Также существенно изменился признак, морфотипический состав популяций, который не находился непосредственно под давлением отбора, т. е. являющийся эволюционно нейтральным. Из всех выделенных в работе морфотипов 73 % были уникальны для той или иной популяции. Отмечена средняя положительная корреляция между признаками «морфотип» и «чувствительность к дифеноконазолу». Влияние применения фунгицидов на морфотипическую структуру популяции возбудителя парши яблони показана впервые.

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

**Информация о спонсорстве.** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 19-416-230070.

### Список литературы

1. Барсукова О.Н. Парша яблони в Европейской части СССР // Микология и фитопатология. 1983. Т. 17. № 5. С. 395-403.
2. Бондарь Л.В. Сравнительное изучение популяций возбудителя парши яблони по морфологическим признакам // Защита растений (сборник науч. трудов). Минск: Ураджай. 1988. Вып. 13. С. 21-25.
3. Животовский Л.А. Популяционная биометрия. М.: Наука, 1991. 271 с.
4. Иванова Е.В., Никишина М.Б., Третьякова А.В., Мухторов Л.Г., Переломов Л.В., Атрощенко Ю.М. Изучение фунгицидной активности новых производных 7-R-1,5-динитро-3,7-диазабицикло [3.3.1] нонан-2-она // Siberian Journal of Life Sciences & Agriculture. 2021. Т. 13. № 5. С. 307-320. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-5-307-320>
5. Комардина В.С., Васеха Е.В., Плескацевич Р.И. Оценка чувствительности возбудителя парши яблони – гриба *Venturia inaequalis* к крезоксим-метилу различными методами // Защита растений. 2022. № 44. С. 96-103.
6. Насонов А.И. База данных «Морфолого-культуральные признаки различных изолятов в популяциях возбудителя парши *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter агроценозов яблони Западного Предкавказья» // Свидетельство о регистрации базы данных 2021622649, 25.11.2021. Заявка № 2021622619 от 19.11.2021.
7. Насонов А.И. Новый способ получения культуры *Venturia inaequalis* из аскоспор // Микология и фитопатология. 2019. Т. 53. № 1. С. 46-48. <https://doi.org/10.1134/S0026364819010094>
8. Насонов А.И., Якуба Г.В., Астапчук И.Л. Чувствительность краснодарской популяции *Venturia inaequalis* к дифеноконазолу, ингибитору деметилирования стероидов // Микология и фитопатология. 2021. Т. 55. № 4. С. 297-308. <https://doi.org/10.31857/S0026364821040103>
9. Насонов А.И., Якуба Г.В., Лободина Е.В. Длительное сохранение резистентности к карбендазиму у *Venturia inaequalis* в Краснодарском крае (Россия) // Микология и фитопатология. 2022. Т. 56. № 5. С. 374-378. <https://doi.org/10.31857/S0026364822050087>
10. Насонов А.И., Якуба Г.В., Лободина Е.В. Особенности морфотипного состава популяции *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter на восприимчивых к парше сортах яблони // Плодоводство и ягодоводство России. 2019. Т. 58. С. 151-157. <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2019-58-151-157>
11. Супрун И.И., Насонов А.И., Токмаков С.В., Барсукова О.Н., Якуба Г.В. Применение SSR маркеров для изучения генетического разнообразия *Venturia inaequalis* на Северном Кавказе в агрофитоценозах разного типа

- // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 1. С. 170-178. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2018.1.170rus>
12. Тютюрев С.Л. Механизмы действия фунгицидов на фитопатогенные грибы. СПб.: ИПК «Нива», 2001. 172 с.
  13. Якуба Г.В. Экологизированная защита яблони от парши в условиях климатических изменений. Краснодар: ГНУ СКЗНИИСиВ, 2013. 213 с.
  14. Belete T., Boyraz N. Critical review on apple scab (*Venturia inaequalis*) biology, epidemiology, economic importance, management and defense mechanisms to the causal agent // J. Plant Physiol. Pathol. 2017. Vol. 5(2). P. 1-11. <https://doi.org/10.4172/2329-955X.1000166>
  15. Chapman K.S., Sundin G.W., Beckerman J.L. Identification of resistance to multiple fungicides in field populations of *Venturia inaequalis* // Plant Dis. 2011. Vol. 95. P. 921-926. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-10-0899>
  16. Cox K.D. Fungicide resistance in *Venturia inaequalis*, the causal agent of apple scab, in the United States. Fungicide Resistance in Plant Pathogens. Springer: Tokyo, 2015. P. 433-447. [https://doi.org/10.1007/978-4-431-55642-8\\_27](https://doi.org/10.1007/978-4-431-55642-8_27)
  17. Fiaccadori R. Researches on methodologies to verify reduced sensitivities of *Venturia inaequalis* in field to difenoconazole and first indications of a survey in Italy // American Journal of Plant Sciences. 2017. Vol. 8(9). P. 2056–2068. <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.89138>
  18. Finney D.J. Probit analysis. Cambridge: UK, 1971. 383 p.
  19. Gladieux P., Zhang X.G., Afoufa-Bastien D., Sanhueza R.V., Sbaghi M., Le Cam B. On the origin and spread of the scab disease of apple: out of Central Asia // PLoS ONE. 2008. Vol. 3(1). P. 1455. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001455>
  20. Gladieux P., Zhang X.G., Roldan-Ruiz I.R., Caffier V., Leroy T., Devaux M., Glabeke S.V., Coart E., Cam B.L. Evolution of the population structure of *Venturia inaequalis*, the apple scab fungus, associated with the domestication of its host // Mol. Ecol. 2010. Vol. 19(4). P. 658-674. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2009.04498.x>
  21. Henríquez Sáez J., Sarmiento O., Alarcón P. Sensitivity of *Venturia inaequalis* Chilean isolates to difenoconazole, fenarimol, mancozeb, and pyrimethanil // Chilean J. Agric. Res. 2011. Vol. 71 (1). P. 39-44. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392011000100005>
  22. Koller W., Parker D.M., Turechek W.W., Avila-Adame C., Cronshaw K. A two-phase resistance response of *Venturia inaequalis* populations to the QoI fungicides kresoxim-methyl and trifloxystrobin // Plant Dis. 2004. Vol. 88. P. 537-544. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2004.88.5.537>
  23. Leroy T., Lemaire C., Dunemann F., Le Cam B. The genetic structure of a *Venturia inaequalis* population in a heterogeneous host population composed of

- different *Malus* species // BMC Evol. Biol. 2013. Vol 13(1). P. 64. <https://doi.org/10.1186/1471-2148-13-64>
24. Li X., Li H., Yu Z., Gao L., Yang J. Investigating the sensitivity of *Venturia inaequalis* isolates to difenoconazole and pyraclostrobin in apple orchards in China // European Journal of Plant Pathology. 2021. Vol. 161(1). P. 207-217. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02316-6>
  25. Mondino P., Casanova L., Celio A., Bentancur O., Leoni C., Alaniz S. Sensitivity of *Venturia inaequalis* to Trifloxystrobin and Difenconazole in Uruguay // Journal of Phytopathology. 2015. Vol. 163(1). P. 1-10. <https://doi.org/10.1111/jph.12274>
  26. Polat Z., Bayraktar H. Resistance of *Venturia inaequalis* to multiple fungicides in Turkish apple orchards // Journal of Phytopathology. 2021. Vol. 169(6). P. 360-368. <https://doi.org/10.1111/jph.12990>
  27. Quello K.L., Chapman K.S., Beckerman J.L. In situ detection of benzimidazole resistance in field isolates of *Venturia inaequalis* in Indiana // Plant disease. 2010. Vol. 94(6). P. 744-750. <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-6-0744>
  28. Sitter V., Garrido Haro P.A., Molineros J.E., Garzon C.D., Jiménez-Gasco M.M. Genetic diversity of apple-and crabapple-infecting isolates of *Venturia inaequalis* in Pennsylvania, the United States, determined by microsatellite markers // Forest Pathology. 2018. Vol. 48(2). e12405. <https://doi.org/10.1111/efp.12405>
  29. Villani S.M., Biggs A.R., Cooley D.R. Raes J.J., Cox K.D. Prevalence of myclobutanil resistance and difenoconazole insensitivity in populations of *Venturia inaequalis* // Plant Dis. 2015. Vol. 99. P. 1526-1536. <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-15-0002-RE>
  30. Xu X., Yang J., Thakur V., Roberts A., Barbara D.J. Population variation of apple scab (*Venturia inaequalis*) within mixed orchards in the UK // Eur. J. Plant Pathol. 2013. Vol. 135(1). P. 97-104. <https://doi.org/10.1007/s10658-012-0068-4>

### References

1. Barsukova O.N. Parsha yabloni v Evropeyskoy chasti SSSR [Apple scab in the affected parts of the USSR]. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology], 1983, vol. 17, no. 5, pp. 395-403.
2. Bondar' L.V. Sravnitel'noe izuchenie populyatsiy vozbuditelya parshi yabloni po morfologicheskim priznakam [Comparative study of apple scab pathogen populations by morphological characters]. *Zashchita rasteniy (sbornik nauch. Trudov)* [Plant protection (collection of scientific papers)]. Minsk: Urajay, 1988, issue 13, pp. 21-25.
3. Zhivotovskiy L.A. *Populyatsionnaya biometriya* [Population biometry]. Moscow: Nauka, 1991, 271 p.

4. Ivanova E.V., Nikishina M.B., Tret'yakova A.V., Mukhtorov L.G., Perelomov L.V., Atroshchenko Yu.M. Izuchenie fungitsidnoy aktivnosti novykh proizvodnykh 7-R-1,5-dinitro-3,7-diazabitsiklo [3.3.1] nonan-2-ona [Investigation of the fungicidal activity of new derivatives of 7-R-1,5-dinitro-3,7-diazabicyclo[3.3.1] nonan-2-one]. *Siberian Journal of Life Sciences & Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 5, pp. 307-320. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-5-307-320>
5. Komardina V.S., Vasekha E.V., Pleskatsevich R.I. Otsenka chuvstvitel'nosti vozbuditelya parshi yabloni – griba *Venturia inaequalis* k krezoksim-metilu razlichnymi metodami [Evaluation of the causing agent of apple scab – fungus *Venturia inaequalis* sensitivity to cresoxym-methyl by various methods]. *Zashchita rasteniy* [Plant Protection], 2022, no. 44, pp. 96-103.
6. Nasonov A.I. Baza dannykh «Morfologo-kul'tural'nye priznaki razlichnykh izolyatov v populyatsiyakh vozbuditelya parshi *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter agrotsenozov yabloni Zapadnogo Predkavkaz'ya» [Morphological and cultural characters of different isolates in populations of scab pathogen *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter apple-tree agrocenoses of the Western Caucasus]. *Svidetel'stvo o registratsii bazy dannykh 2021622649* [Database Registration Certificate 2021622649], 25.11.2021, Application no. 2021622619 dated 11.19. 2021.
7. Nasonov A.I. Novyy sposob polucheniya kul'tury *Venturia inaequalis* iz askospor [New method of producing of *Venturia inaequalis* culture from ascospores]. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology], 2019, vol. 53, no. 1, pp. 46-48. <https://doi.org/10.1134/S0026364819010094>
8. Nasonov A.I., Yakuba G.V., Astapchuk I.L. Chuvstvitel'nost' krasnodarskoy populyatsii *Venturia inaequalis* k difenokonazolu, ingibitoru demetilirovaniya sterinov [Sensitivity of the Krasnodar population of *Venturia inaequalis* to difenoconazole, an inhibitor of sterol demethylation]. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology], 2021, vol. 55, no. 4, pp. 297-308. <https://doi.org/10.31857/S0026364821040103>
9. Nasonov A.I., Yakuba G.V., Lobodina E.V. Dlitel'noe sokhranenie rezistentnosti k karbendazimu u *Venturia inaequalis* v Krasnodarskom krae (Rossiya) [The long-term resistance to carbendazime in *Venturia inaequalis* in the Krasnodar region (Russia)]. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology], 2022, vol. 56, no. 5, pp. 374-378. <https://doi.org/10.31857/S0026364822050087>
10. Nasonov A.I., Yakuba G.V., Lobodina E.V. Osobennosti morfotipnogo sostava populyatsii *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter na vospriimchivyykh k parshe sortakh yabloni [Peculiarities of the morphotype composition of the *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter population on susceptible to scab apple tree varieties]. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii* [Pomiculture and small fruits

- culture in Russia], 2019, vol. 58, pp. 151-157. <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2019-58-151-157>
11. Suprun I.I., Nasonov A.I., Tokmakov S.V., Barsukova O.N., Yakuba G.V. Primenenie SSR markerov dlya izucheniya geneticheskogo raznobraziya *Venturia inaequalis* na Severnom Kavkaze v agrofittotsenozakh raznogo tipa [Application of SSR markers for study of genetic diversity of *Venturia inaequalis* in the different types of orchards in the North Caucasian region]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* [Agricultural Biology], 2018, vol. 53, no. 1, pp. 170-178. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2018.1.170rus>
  12. Tyuterev S.L. *Mekhanizmy deystviya fungitsidov na fitopatogennyye griby* [Mechanisms of fungicide action on phytopathogenic fungi]. St. Petersburg: IPK "Niva", 2001, 172 p.
  13. Yakuba G.V. *Ekologizirovannaya zashchita yabloni ot parshi v usloviyakh klimaticheskikh izmeneniy* [Ecological protection of apple trees from scab under conditions of climatic changes]. Krasnodar: GNU SKZNIISiV, 2013, 213 p.
  14. Belete T., Boyraz N. Critical review on apple scab (*Venturia inaequalis*) biology, epidemiology, economic importance, management and defense mechanisms to the causal agent. *J. Plant Physiol. Pathol.*, 2017, vol. 5, no. 2, pp. 1-11. <https://doi.org/10.4172/2329-955X.1000166>
  15. Chapman K.S., Sundin G.W., Beckerman J.L. Identification of resistance to multiple fungicides in field populations of *Venturia inaequalis*. *Plant Dis*, 2011, vol. 95, pp. 921-926. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-10-0899>
  16. Cox K.D. Fungicide resistance in *Venturia inaequalis*, the causal agent of apple scab, in the United States. *Fungicide Resistance in Plant Pathogens*. Springer: Tokyo, 2015, pp. 433-447. [https://doi.org/10.1007/978-4-431-55642-8\\_27](https://doi.org/10.1007/978-4-431-55642-8_27)
  17. Fiaccadori R. Researches on methodologies to verify reduced sensitivities of *Venturia inaequalis* in field to difenoconazole and first indications of a survey in Italy. *American Journal of Plant Sciences*, 2017, vol. 8, no. 9, pp. 2056–2068. <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.89138>
  18. Finney D.J. *Probit analysis*. Cambridge: UK, 1971, 383 p.
  19. Gladieux P., Zhang X.G., Afoufa-Bastien D., Sanhueza R.V., Sbaghi M., Le Cam B. On the origin and spread of the scab disease of apple: out of Central Asia. *PLoS ONE*, 2008, vol. 3, no. 1, p. 1455. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001455>
  20. Gladieux P., Zhang X.G., Roldan-Ruiz I.R., Caffier V., Leroy T., Devaux M., Glabeke S.V., Coart E., Cam B.L. Evolution of the population structure of *Venturia inaequalis*, the apple scab fungus, associated with the domestication of its host. *Mol. Ecol.*, 2010, vol. 19, no. 4, pp. 658-674. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2009.04498.x>

21. Henriquez Sáez J., Sarmiento O., Alarcón P. Sensitivity of *Venturia inaequalis* Chilean isolates to difenoconazole, fenarimol, mancozeb, and pyrimethanil. *Chilean J. Agric. Res.*, 2011, vol. 71, no. 1, pp. 39-44. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392011000100005>
22. Koller W., Parker D.M., Turechek W.W., Avila-Adame C., Cronshaw K. A two-phase resistance response of *Venturia inaequalis* populations to the QoI fungicides kresoxim-methyl and trifloxystrobin. *Plant Dis*, 2004, vol. 88, pp. 537-544. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2004.88.5.537>
23. Leroy T., Lemaire C., Dunemann F., Le Cam B. The genetic structure of a *Venturia inaequalis* population in a heterogeneous host population composed of different *Malus* species. *BMC Evol. Biol.*, 2013, vol 13, no. 1, p. 64. <https://doi.org/10.1186/1471-2148-13-64>
24. Li X., Li H., Yu Z., Gao L., Yang J. Investigating the sensitivity of *Venturia inaequalis* isolates to difenoconazole and pyraclostrobin in apple orchards in China. *European Journal of Plant Pathology*, 2021, vol. 161, no. 1, pp. 207-217. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02316-6>
25. Mondino P., Casanova L., Celio A., Bentancur O., Leoni C., Alaniz S. Sensitivity of *Venturia inaequalis* to Trifloxystrobin and Difenoconazole in Uruguay. *Journal of Phytopathology*, 2015, vol. 163, no. 1, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1111/jph.12274>
26. Polat Z., Bayraktar H. Resistance of *Venturia inaequalis* to multiple fungicides in Turkish apple orchards. *Journal of Phytopathology*, 2021, vol. 169, no. 6, pp. 360-368. <https://doi.org/10.1111/jph.12990>
27. Quello K.L., Chapman K.S., Beckerman J.L. In situ detection of benzimidazole resistance in field isolates of *Venturia inaequalis* in Indiana. *Plant disease*, 2010, vol. 94, no. 6, pp. 744-750. <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-6-0744>
28. Sither V., Garrido Haro P.A., Molineros J.E., Garzon C.D., Jiménez-Gasco M.M. Genetic diversity of apple-and crabapple-infecting isolates of *Venturia inaequalis* in Pennsylvania, the United States, determined by microsatellite markers. *Forest Pathology*, 2018, vol. 48, no. 2, p. e12405. <https://doi.org/10.1111/efp.12405>
29. Villani S.M., Biggs A.R., Cooley D.R. Raes J.J., Cox K.D. Prevalence of myclobutanil resistance and difenoconazole insensitivity in populations of *Venturia inaequalis*. *Plant Dis*, 2015, vol. 99, pp. 1526-1536. <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-15-0002-RE>
30. Xu X., Yang J., Thakur V., Roberts A., Barbara D.J. Population variation of apple scab (*Venturia inaequalis*) within mixed orchards in the UK. *Eur. J. Plant Pathol.*, 2013, vol. 135, no.1, pp. 97-104. <https://doi.org/10.1007/s10658-012-0068-4>

### ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

**Насонов Андрей Иванович**, заведующий лабораторией биотехнологического контроля фитопатогенов и фитофагов, кандидат биологических наук  
*ФГБНУ Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия*  
*ул. 40-летия Победы, 39, г. Краснодар, Краснодарский край, 350901, Российская Федерация*  
*nasoan@mail.ru*

**Бардак Мария Владимировна**, магистрант биологического факультета Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный университет»  
*ул. Ставропольская, 149, г. Краснодар, Краснодарский край, 350040, Российская Федерация*  
*maria.brd1405@mail.ru*

### DATA ABOUT THE AUTHORS

**Andrey I. Nasonov**, Head of the Laboratory for Biotechnological Control of Phytopathogens and Phytophages, Candidate of Biological Sciences  
*North Caucasian Research Institute of horticulture, viticulture, winemaking*  
*39, 40 years of Victory Str., Krasnodar, Krasnodar Region, Russian Federation*  
*nasoan@mail.ru*  
*SPIN-code: 5636-6106*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4927-2192>*  
*Scopus Author ID: 56989221000*  
*ResearcherID: K-9142-2017*

**Mariya V. Bardak**, Master's degree student of the Faculty of Biology  
*Kuban State University*  
*149, Stavropol'skaya Str., Krasnodar, Krasnodar Region, Russian Federation*  
*maria.brd1405@mail.ru*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1559-5073>*

Поступила 16.11.2022

После рецензирования 29.11.2022

Принята 10.12.2022

Received 16.11.2022

Revised 29.11.2022

Accepted 10.12.2022

# ЗДРАВООХРАНЕНИЕ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

## PUBLIC HEALTH AND PREVENTIVE MEDICINE

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-239-253

UDC 159.9:614.2



Original article | Medical Psychology

### SUBJECTIVE AGE AND SUBJECTIVE EVALUATION OF THE HEALTH OF WOMEN WITH BREAST CANCER

*E.A. Sergienko, D.A. Tsiring,  
Ya.N. Pakhomova, I.V. Ponomareva*

*This article is devoted to the results of the study of the relationship between subjective age and subjective assessment of health among women with breast cancer. The analysis of the literature showed that subjective age is a predictor of death, mental wellness, assessment of life prospects (approach of death), possibility of coping with a bad trauma (e.g. oncological disease). The research included 170 women in the age of 31 to 85 (the average age is 56,5) diagnosed with breast cancer on different stages. Summarising received data, it should be noted that the women who feel rather danger than their chronological age address to own resources and, in general their subjective health assessment is connected with role functioning based on the emotional condition and general mental health. The women with adequate perception of their age have issues with role functioning connected with physical condition as well as the women who feel older than they actually are do. The results of this research expand a notion about potential predictors for breast cancer course, besides the results can be used for building the forecast of the disease course and its outcome.*

**Keywords:** *subjective evaluation of the health; quality of life; subjective age; breast cancer; oncopsychology*

**For citation.** *Sergienko E.A., Tsiring D.A., Pakhomova Ya.N., Ponomareva I.V. Subjective Age and Subjective Evaluation of the Health of Women with Breast Cancer. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 239-253. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-239-253*

Научная статья | Медицинская психология

## СУБЪЕКТИВНЫЙ ВОЗРАСТ И СУБЪЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА ЗДОРОВЬЯ ЖЕНЩИН С РАКОМ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

*Е.А. Сергиенко, Д.А. Циринг,  
Я.Н. Пахомова, И.В. Пономарева*

*Данная статья посвящена результатам исследования взаимосвязи субъективного возраста и субъективной оценки здоровья среди женщин с раком молочной железы на разных стадиях заболевания. Анализ литературы показал, что субъективный возраст выступает в качестве предиктора смерти, психологического благополучия, оценки жизненной перспективы (близости смерти), возможности совладания с тяжелой травматической ситуацией (онкологическим заболеванием). В исследовании принимали участие 170 женщин в возрасте от 31 года до 85 лет (средний возраст 56,5) с диагнозом рак молочной железы на разной стадии заболевания. Обобщая полученные данные, следует указать, что женщины, чувствующие себя значительно моложе своего паспортного возраста, адресуются к собственным ресурсам и в целом их субъективные оценки здоровья указывают в большей степени на ролевое функционирование, связанное с эмоциональным состоянием, и на общую оценку психического здоровья. Женщины с адекватным представлением о субъективном возрасте испытывают проблемы с ролевым функционированием, связанным с физическим состоянием, так же, как и женщины, чувствующие себя старше. Результаты данного исследования расширяют представления о возможных предикторах течения рака молочной железы, а также могут быть полезны при построении прогнозов течения болезни и ее исходов.*

**Ключевые слова:** субъективная оценка здоровья; качество жизни; субъективный возраст; рак молочной железы; онкопсихология

**Для цитирования.** Сергиенко Е.А., Циринг Д.А., Пахомова Я.Н., Пономарева И.В. Субъективный возраст и субъективная оценка здоровья женщин с раком молочной железы // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №3. С. 239-253. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-239-253

### Introduction

According to the data of WHO estimated increase in number of new cases of cancer will be 63,1% by 2040, whilst new mortality cases – 71,5%. Increase in number of new cancer cases in Russia is 17,4% [4; 13]. Breast cancer takes the

leading place in the pattern of morbidity connected with malignancies among the female population. Every year 1 250 000 new cases of breast cancer are registered in the world, 54 000 cases are in Russia only. Morbidity connected with malignancies is increasing in the majority of countries, this is connected with the range of factors. Despite the great success in treating this disease, the amount of lethal cases remains big. The analysis of mortality rate in Russia for the last decade (2004-2014) shows that the dynamic hasn't changed greatly (29,78 lethal cases per 100 000 women in 2004, 29,08 - in 2014) [2; 3; 13].

Breast cancer provokes distress, anxiety, despair; it leads to changes in lifestyle, working and family status. The role of the psychological factors in fighting against this severe condition may be quite relevant for surviving and mental wellness of women. The results of researches conducted all around the world are aimed at finding those psychological factors which, on the one hand, might clarify psychological risks of cancer, on the other hand, demonstrate a role of psychological factors in fighting against cancer as well as their possibility to forecast a lifespan after onset of cancer.

### **Literature review**

In an intensively developing sphere of psycho-oncology there is an increasing concern with subjective factors and resources as predictors for the outbreak of the disease, its course and outcome. As it was shown in the range of studies, people diagnosed with oncological diseases had been experiencing significant trauma in the events of their life as well as long-term post-traumatic stress before the before they was diagnosed [6; 8]. Moreover the diagnosis and disease course are extreme stress and a life threat, and even in favourable outcome might lead to drastic changes in lifestyle [7; 16]. Breast cancer is characterised by great intensity of traumatic impact because it not only threatens patients' lives, but also affects psychological, sexual and social aspects of women's lives.

We assume that one of the prognosis factor for treatment and lifespan of women with breast cancer is subjective evaluation attached to age, which is to say, self-perception own age which can be the same as chronological age or different from it. In previous researches it was shown that subjective age performs as general self-perception of one's own psychological resources [10]. As the studies revealed subjective age of a person is connected with physical and mental health, life satisfaction, time perspective and personal circumstances [9]. Thus in Y. Stephan's research conducted with the sample of 17 000 people was aimed to study subjective age as a mortality predictor. Subjective age was included in the list of health factors [14; 15]. Subjective age, demographic fac-

tors, present diseases, functional limitations, depression and physical inactivity were assessed as basic data, whereas the dates of deaths were tracked during 20 years. In this research it was noted that that patients' chronic illnesses, their physical inactivity, functional limitations and cognitive problems are connected with subjective age and mortality. Considering both seniors and middle-aged people, the mortality risk was higher among those patients who felt older in comparison with the patients who felt younger. Another study of the sample of seniors shows that younger subjective age is connected with relevantly low level of C-reactive protein [15]. The data indicates that subjective age might serve as the immune dysfunction predictor as well as the predictor of morbidity and mortality, that, apparently, reflects on subjective feeling of the age.

Evaluation of the subjective age, a feeling of loneliness and a level of mental health (symptoms of depression, anxiety, symptoms of trauma) of seniors during COVID-19 pandemic lockdown showed that much older subjective age increases the risk of negative outcomes of loneliness, consequently, subjective age serves as a buffer for traumatising events [12]. Thus, subjective age reflects a subjective perception one's resources and abilities to cope with difficult life events.

The analysis of the literature showed that subjective age is a predictor of death, mental wellness, assessment of life prospects (approach of death), possibility of coping with a bad trauma (e.g. oncological disease), which prevents from developing PTSD symptoms and leads to more favourable disease course.

The goal of this research is to study subjective age among women with breast cancer in connection with quality-of-life indicators (subjective evaluation of the health). It is important to note that this study is a continuation of an earlier study on the relationship of subjective age with the psychological characteristics of women with breast cancer [11].

### **Materials and methods of the research**

The sample. The research included 170 women in the age of 31 to 85 (the average age is 56,5) diagnosed with breast cancer on different stages (1st stage - 48 women, 2nd stage - 41 women, 3rd stage - 10 women, 4th stage – 45 women). The research was conducted on the base of State-Financed Health Institution «Chelyabinsk Regional Center for Oncology and Nuclear Medicine»

In order to achieve the goals of the study following methods were used:

1) Russian version of SF-36 Health Survey (John E. Ware, et al.) recommended by International Centre for Research of Subjective Health Assessment. The test was adapted by Gurevich K.G., Fabricant E.G. [5; 17]. The questionnaire allows to evaluate subjective perception of physical and mental health, it includes following scales:

- Limitations in physical activities because of health problems.
- Limitations in social activities because of physical or emotional problems
- Limitations in usual role activities because of physical health problems
- Bodily pain
- General mental health (psychological distress and well-being)
- Limitations in usual role activities because of emotional problems
- Vitality (energy and fatigue)
- General health perceptions

All scales are combined into two cumulative measurements - physical health (scales 1-4) and mental health (scales 5-8).

2) «Age-of-Me» Test (B. Barak, 2009). The test was adapted by E. A. Sergienko in 2011 [10]. This questionnaire allows to assess general subjective age, biological subjective age (feel-age), emotional subjective age (look-age), social subjective age (do-age) and cognitive subjective age (interest-age)

3) Respondents' socio-demographic data collection forms

Data analysis was completed with the use of the following statistical methods:

- The descriptive statistics (the arithmetic mean, standard deviation, skewness, kurtosis)
- The comparative analysis (the Student's t-test)
- The correlation analysis (the r-Pearson's)

The analysis was conducted in SPSS Statistics v. 24.

The results of the research

In order to diagnose the normality of the distribution, the frequency distribution was analyzed. The results of this diagnosis showed that the distribution of results corresponds to normal: the skewness and kurtosis do not exceed their standard errors.

Table 1 provides the results of assessment of subjective age. The sample was divided into 3 groups according to the assessment ( $\pm 1$  standard deviation): younger than chronological age, equal to chronological age and older than chronological age.

The amount of women whose subjective age is equal to chronological is 26, whereas the women whose subjective age is older than chronological is 20. The majority (124 women) feels younger than their actual age. Furthermore, the difference between figures of average feel-age in the group of women whose age is younger than chronological age is almost 15 years. Other indicators show prominent difference as well. The women assessed themselves older than they actually are have max difference feel-age and chronological age.

Table 1.

**The results of assessment of subjective age and the difference between subjective and chronological age among women with breast cancer**

N	Group	Age					
		Chrono-logical	Average subjective	Feel-age	Look-age	Do-age	Interest-age
		St.deviation	St.deviation	St.deviation	St.deviation	St.deviation	St.deviation
			Difference	Difference	Difference	Difference	Difference
Average	Average	Average	Average	Average	Average		
124	younger than chronological age	10,85	9,78	11,14	11,01	10,87	10,96
			10,98	15,09	8,23	8,98	9,99
		55,41	44,81	40,84	48,09	47,18	44,88
26	equal to chronological age	13,58	14,88	16	14,83	13,67	12,84
			1,62	3,07	2,1	1,2	1,38
		55,18	53,26	53,1	53,78	54,65	55,12
20	older than chronological age	13,02	11,01	11,25	12,6	10,44	11,65
			-5,63	-7,9	-0,71	-6,07	-5,93
		48,97	54,72	55,02	48,32	54,6	53,99

Table 2.

**Statistical significance for the difference between average subjective age and chronological age difference**

Groups	Chrono-logical age	Statistical significance	Age				
			Average Subjective	Feel-age	Look-age	Do-age	Interest-age
< and =	0,875	p (between averages)	0,039	0,03	0,09	0,025	0,02
		p (between differences)	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,0001	<0,0001
< and >	0,05	p (between averages)	0,185	0,005	0,88	0,41	0,161
		p (between differences)	<0,0001	<0,001	0,0001	<0,0001	<0,0001
= and >	0,198	p (between averages)	0,99	0,62	0,71	0,38	0,461
		p (between differences)	<0,0001	<0,0001	0,4	<0,001	<0,0001

**Note:** «<» – women with breast cancer whose subjective age is younger than chronological, «=» women with breast cancer whose subjective age is equal to chronological, «>» – women with breast cancer whose subjective age is higher than chronological.

The comparative analysis of average subjective age and chronological age in the groups shows statistical significance.

The difference between groups in assessment subjective age appeared to be statistically significant in all indicators except for subjective age, look-age and

do-age between the group of the women with breast cancer whose subjective age is younger than chronological and the group of the women with breast cancer whose subjective age is higher than chronological.

There is no statistic significance in difference average chronological age and subjective age in the group of women with breast cancer whose subjective age is equal to chronological and the group of the women with breast cancer whose subjective age is higher than chronological. The difference between chronological age and subjective age is statistically significant for all respondent groups.

Table 3.

**Provides the correlation of subjective age with the indicators of quality of life (physical and mental)**

<i>The women with breast cancer who felt younger than their chronological age, n=124</i>								
Subjective Age and its components	PF	RP	BP	GH	VT	SF	RE	MH
Average Subjective Age	-0,08	0,08	-0,03	-0,04	-0,12	-0,05	-0,24*	-0,23*
Feel-age	-0,06	0,04	-0,07	-0,02	-0,11	-0,03	-0,18	-0,12
Look-age	-0,04	0,06	0,02	-0,15	-0,12	-0,01	-0,14	-0,17
Do-age	0,03	0,06	0,01	-0,03	-0,14	-0,04	-0,25**	-0,15
Interest-age	-0,07	0,04	-0,05	-0,05	-0,2*	-0,071	-0,22*	-0,28**
<i>The women with breast cancer whose subjective age is equal to chronological, n=26</i>								
Subjective Age and its components	PF	RP	BP	GH	VT	SF	RE	MH
Average Subjective Age	-0,28	-0,48*	-0,03	-0,31	-0,11	-0,01	-0,26	-0,19
Feel-age	-0,34	-0,57*	-0,08	-0,31	-0,22	-0,1	-0,31	-0,21
Look-age	-0,19	-0,51*	-0,02	-0,29	-0,18	-0,14	-0,29	-0,2
Do-age	-0,23	-0,5*	0,24	-0,39	-0,14	0,02	-0,24	-0,19
Interest-age	-0,38	-0,48*	-0,12	-0,3	-0,19	0,13	-0,23	-0,2
<i>The women with breast cancer who felt older than their chronological age, n=20</i>								
Subjective Age and its components	PF	RP	BP	GH	VT	SF	RE	MH
Average Subjective Age	0,42	-0,89**	0,24	0,14	0,03	-0,14	-0,59	-0,2
Feel-age	0,43	-0,94**	0,45	0,16	0,13	0,019	-0,51	-0,24
Look-age	0,28	-0,88**	0,29	0,19	-0,09	-0,4	-0,63	-0,38
Do-age	0,6	-0,81**	0,36	0,55	0,17	0,5	-0,5	0,19
Interest-age	0,39	-0,91**	0,45	0,47	0,12	-0,43	-0,42	-0,17

**Note:** PF – physical functioning, RP – usual role activities because of physical health problems, BP – Bodily Pain, GH – General Health, MH – Mental Health, RE – usual role activities because of emotional problems, SF – Social Functioning, VT – Vitality. \* – significant at  $p \leq 0,05$ ; \*\* – at  $p \leq 0,01$ .

The women who feel younger have subjective age and its components are associated with role functioning, connected with emotional condition and general mental health: the younger subjective age is, the higher role functioning is and better mental health is. The women who assess their subjective age adequately (feel the same as their actual age) as well as those who feel older show relationships between subjective age and its components with role functioning because of physical health problems: the older subjective age is, the less effective role functioning is. One may suppose that younger subjective age shifts the emphasis in the assessment of role functioning to emotional conditions in comparison with women who feel older and focus on physical conditions.

### **Discussion of the results**

Summarising received data, it should be noted that the analysis of subjective age and its variety among women with breast cancer allows to differentiate subjective assessment one's own health which appears in difficult traumatic life situation connected with the disease.

The women who feel rather danger than their chronological age address to own resources and, in general their subjective health assessment is connected with role functioning based on the emotional condition and general mental health: the younger subjective age is, the higher role functioning is and the better mental health is. This data allows to assume that subjective age plays the role of flexible psychological mechanism which modify measures for coping with difficult traumatising life situation connected with the disease. It appears that the women who feel younger make greater efforts to fight the disease, they need more social support and consequently request it more.

The women with adequate perception of their age have issues with role functioning connected with physical condition as well as the women who feel older than they actually are do.

It might be suggested that the women who feel subjectively younger experience more emotional problems, however turn to bigger variety of psychological sources while struggling with trauma. Despite the fact that chronological age of all three groups is on average not very different, we observe significant difference in the patterns of psychological resources system. It means that apart from the general psychological factors of breast cancer (depression, anxiety, distress) there are individual variants of psychological organisation connected with subjective age which becomes a psychological mechanism for the assessment one's own resources. This assumption needs further verification and argumentation.

A limitation for this work is a very small number of respondents with an adequate assessment of subjective age and especially those respondents who feel older than they actually are. Moreover, it's necessary to consider the impact of clinical factors e.g. disease severity, presence of complications, particular features of therapy and a stage of the disease on subjective age among the women with breast cancer, since subjective age can change under the impact of traumatic experience of the disease and be a consequence of a patient's emotional condition.

### Conclusion

The research on subjective age as a factor of psychological resources among women with breast cancer showed that subjective age allows to differentiate subjective assessments of health condition which can appear in difficult life situations connected with breast cancer. The significant differences in patterns of the psychological resources system were registered among women of different ages (from 31-85). It means that apart from the general psychological factors of breast cancer (depression, anxiety, distress), there are individual variants of psychological organisation connected with age assessment which modifies actualisation and evaluation of one's own mental resources. The results of this research expand a notion about potential predictors for breast cancer course, besides the results can be used for building the forecast of the disease course and its outcome.

**Funding.** The reported study was funded by Russian Science Foundation, project number 19-18-00426.

### References

1. Barak B. Age identity: A cross-cultural global approach. *International Journal of Behavioral Development*, 2009, vol. 33, no. 1, pp. 2–11. <https://doi.org/10.1177/0165025408099485>
2. Duggan C., Dvaladze A., Rositch A. F., Ginsburg O., Yip C. H., Horton S., Camacho Rodriguez R., Eniu A., Mutebi M., Bourque J. M., Masood S., Unger-Saldaña K., Cabanes A., Carlson R. W., Gralow J. R., Anderson B. O. The Breast Health Global Initiative 2018 Global Summit on Improving Breast Healthcare Through Resource-Stratified Phased Implementation: Methods and overview. *Cancer*, 2020, 126 Suppl 10(Suppl 10), pp. 2339–2352. <https://doi.org/10.1002/cncr.32891>
3. Ferlay J., Ervik M., Lam F., Colombet M., Mery L., Piñeros M., Znaor A., Soerjomataram I., Bray F. *Global Cancer Observatory: Cancer Today*. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, 2020. <https://gco.iarc.fr/today>

4. Global Burden of Disease Cancer Collaboration, Fitzmaurice C, Abate D, et al. Global, regional, and National cancer incidence, mortality, years of life lost, years lived with disability, and Disability-Adjusted life-years for 29 cancer groups, 1990 to 2017: a systematic analysis for the global burden of disease study. *JAMA Oncol*, 2019, vol. 5(12), pp. 1749–1768. <https://doi.org/10.1001/jamaoncol.2019.2996>
5. Gurevich K.G. Fabrikant E.G. Methodological recommendations for the organization of programs for the prevention of chronic non-communicable diseases. Moscow State Medical and Dental University, 2008. URL: [http://bono-esse.ru/blizzard/RPP/M/ORGZDRAV/Orgproga/org\\_proga.html](http://bono-esse.ru/blizzard/RPP/M/ORGZDRAV/Orgproga/org_proga.html)
6. Hoffman Y.S., Shrira A., Cohen-Fridel S. et al. Posttraumatic stress disorder symptoms as a function of the interactive effect of subjective age and subjective nearness to death. *Personality and Individual Differences*, 2016, vol. 102, pp. 245–251. <https://doi.org/10.1016/J.PAID.2016.07.017>
7. Klimova M.O., Tsiring D.A. Personal helplessness as a factor of the course of the disease in oncological diseases (theoretical analysis). *Azimuth of Scientific Research: Pedagogy and Psychology*, 2020, vol. 9, no. 1 (30), pp. 362–366. <https://doi.org/10.26140/anip-2020-0901-0088>
8. Lillberg K., Verkasalo P.K., Kaprio J. et al. Stress of daily activities and risk of breast cancer: prospective cohort study in Finland. *International Journal of Cancer*, 2001, vol. 91, no. 6, pp. 888–893. [https://doi.org/10.1002/1097-0215\(200002\)9999:9999<::aid-ijc1138>3.0.co;2-d](https://doi.org/10.1002/1097-0215(200002)9999:9999<::aid-ijc1138>3.0.co;2-d)
9. Sergienko E.A. Subjective age as a predictor of the course of a serious illness. *Bulletin of the Russian State University for the Humanities. The series "Psychology. Pedagogy. Education"*, 2020, vol. 1, pp. 25–39. <https://doi.org/10.28995/2073-6398-2020-1-25-39>
10. Sergienko E.A. The role of subjective age in the regulation of vital activity. In A.L. Zhuravlev, N.V. Tarabrina, E.A. Sergienko, N.E. Harlamenkova (eds.) *Psychology of Everyday and Traumatic Stress: Threats, Consequences and Coping*. Moscow: Publ. of Institute of Psychology, 2016, pp. 50–84.
11. Sergienko E.A., Tsiring D.A., Pakhomova Y.N., Ponomareva I.V. Subjective Age of Women with Breast Cancer in the System of Psychological Factors. *Klinicheskaja i spetsial'naia psikhologija* [Clinical Psychology and Special Education], 2022, vol. 11, no. 1, pp. 67–89. <https://doi.org/10.17759/cpse.2022110104>
12. Shrira A., Hoffman Y., Bodner E. et al. COVID-19-related loneliness and psychiatric symptoms among older adults: the buffering role of subjective age. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, 2020, vol. 28, no. 11, pp. 1200–1204. <https://doi.org/10.1016/j.jagp.2020.05.018>

13. Statistics of breast cancer in the world and Russia. URL: <https://www.oncoforum.ru/o-rake/statistika-raka/statistika-raka-molochnykh-zhelez-v-mire-i-rossii.html>
14. Stephan Y., Sutin A.R., Terracciano A. Subjective Age and Mortality in Three Longitudinal Samples. *Psychosomatic Medicine*, 2018, vol. 80, no. 7, pp. 10–23. <https://doi.org/10.1097/PSY.0000000000000613>
15. Stephan Y., Sutin A.R., Terracciano A. Younger subjective age is associated with lower C-reactive protein among older adult. *Drain, Behavior and Immunity*, 2015, vol. 43, pp. 33–36. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2014.07.019>
16. Tarabrina N.V., Vorona O.A., Kurchakova M.S., Padun M.A., Shatalova N.E. Oncopsychology. Post-traumatic stress in breast cancer patients. Moscow: Publ. of Institute of Psychology, 2010, 175 p.
17. Ware J.E.J., Kosinski M., Keller S.D. SF-36 physical and mental health summary scale: a user's manual. Boston, MA: The Health Institute, New England Medical Centre, 1994, 316 p.

#### **Список литературы**

1. Barak B. Age identity: A cross-cultural global approach // *International Journal of Behavioral Development*, 2009, vol. 33, no. 1, pp. 2–11. <https://doi.org/10.1177/0165025408099485>
2. Duggan C., Dvaladze A., Rositch A. F., Ginsburg O., Yip C. H., Horton S., Camacho Rodriguez R., Eniu A., Mutebi M., Bourque J. M., Masood S., Unger-Saldaña K., Cabanes A., Carlson R. W., Galow J. R., Anderson B. O. The Breast Health Global Initiative 2018 Global Summit on Improving Breast Healthcare Through Resource-Stratified Phased Implementation: Methods and overview // *Cancer*, 2020, 126 Suppl 10(Suppl 10), pp. 2339–2352. <https://doi.org/10.1002/cncr.32891>
3. Ferlay J., Ervik M., Lam F., Colombet M., Mery L., Piñeros M., Znaor A., Soerjomataram I., Bray F. Global Cancer Observatory: Cancer Today. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, 2020. <https://gco.iarc.fr/today>
4. Global Burden of Disease Cancer Collaboration, Fitzmaurice C, Abate D, et al. Global, regional, and National cancer incidence, mortality, years of life lost, years lived with disability, and Disability-Adjusted life-years for 29 cancer groups, 1990 to 2017: a systematic analysis for the global burden of disease study // *JAMA Oncol.*, 2019, vol. 5(12), pp. 1749–1768. <https://doi.org/10.1001/jamaoncol.2019.2996>
5. Гуревич К.Г., Фабрикант Е.Г. Методические рекомендации по организации программ профилактики хронических неинфекционных заболеваний. ГОУ ВПО Московский государственный медико-стоматологический университет. 2008. URL: [http://bono-esse.ru/blizzard/RPP/M/ORGZDRAV/Orgproga/org\\_proga.html](http://bono-esse.ru/blizzard/RPP/M/ORGZDRAV/Orgproga/org_proga.html)

6. Hoffman Y.S., Shrira A., Cohen-Fridel S. et al. Posttraumatic stress disorder symptoms as a function of the interactive effect of subjective age and subjective nearness to death // *Personality and Individual Differences*. 2016, vol. 102, pp. 245–251. <https://doi.org/10.1016/J.PAID.2016.07.017>
7. Климова М.О., Циринг Д.А. Личностная беспомощность как фактор течения болезни при онкозаболеваниях (теоретический анализ) // *Азимут научных исследований: педагогика и психология*. 2020. Т. 9. № 1 (30). С. 362–366. <https://doi.org/10.26140/anip-2020-0901-0088>
8. Lillberg K., Verkasalo P.K., Kaprio J. et al. Stress of daily activities and risk of breast cancer: prospective cohort study in Finland // *International Journal of Cancer*, 2001, vol. 91, no. 6, pp. 888–893. [https://doi.org/10.1002/1097-0215\(200002\)9999:9999<::aid-ijc1138>3.0.co;2-d](https://doi.org/10.1002/1097-0215(200002)9999:9999<::aid-ijc1138>3.0.co;2-d)
9. Сергиенко Е.А. Субъективный возраст как предиктор течения тяжелой болезни // *Вестник РГГУ. Серия «Психология. Педагогика. Образование»*. 2020. № 1. С. 25–39. <https://doi.org/10.28995/2073-6398-2020-1-25-39>
10. Сергиенко Е.А. Роль субъективного возраста в регуляции жизнедеятельности // *Психология повседневного и травматического стресса: угрозы, последствия и совладание* / Под ред. А.Л. Журавлева, Н.В. Тарабриной, Е.А. Сергиенко, Н.Е. Харламенковой. М.: изд-во «Институт психологии РАН», 2016. С. 50–84.
11. Сергиенко Е.А., Циринг Д.А., Пахомова Я.Н., Пономарева И.В. Субъективный возраст женщины с раком молочной железы в системе психологических факторов // *Клиническая и специальная психология*. 2022. Т. 11. № 1. С. 67–89. <https://doi.org/10.17759/cpse.2022110104>
12. Shrira A., Hoffman Y., Bodner E. et al. COVID-19-related loneliness and psychiatric symptoms among older adults: the buffering role of subjective age // *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, 2020, vol. 28, no. 11, pp. 1200–1204. <https://doi.org/10.1016/j.jagp.2020.05.018>
13. Statistics of breast cancer in the world and Russia. URL: <https://www.oncoforum.ru/o-rake/statistika-raka/statistika-raka-molochnykh-zhelez-v-mire-i-rossii.html>
14. Stephan Y., Sutin A.R., Terracciano A. Subjective Age and Mortality in Three Longitudinal Samples // *Psychosomatic Medicine*, 2018, vol. 80, no. 7, pp. 10–23. <https://doi.org/10.1097/PSY.0000000000000613>
15. Stephan Y., Sutin A.R., Terracciano A. Younger subjective age is associated with lower C-reactive protein among older adult // *Drain, Behavior and Immunity*, 2015, vol. 43, pp. 33–36. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2014.07.019>

16. Тарабрина Н.В., Ворона О.А., Курчакова М.С. и др. Онкопсихология. Посттравматический стресс у больных раком молочной железы. М.: изд-во «Институт психологии РАН», 2010. 175 с.
17. Ware J.E.J., Kosinski M., Keller S.D. SF-36 physical and mental health summary scale: a user's manual. Boston, MA: The Health Institute, New England Medical Centre, 1994. 316 p.

#### DATA ABOUT THE AUTHORS

**Elena A. Sergienko**, Chief Researcher, Doctor of Psychological Sciences, Professor  
*Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences*  
*13, Yaroslavskaya Str., Moscow, 129366, Russian Federation*  
*elenas13@mail.ru*  
*SPIN-code: 9943-1914*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4068-9116>*  
*ResearcherID: Q-9490-2016*  
*Scopus Author ID: 7003763830*

**Diana A. Tsiring**, Chief Researcher, Doctor of Psychological Sciences, Professor; Director  
*National Research Tomsk State University; Ural Branch of the Financial University under the Government of the Russian Federation*  
*36, Lenin Ave., Tomsk, Tomsk Region, 634050, Russian Federation; 58, Rabotnits Str., Chelyabinsk, 454001, Russian Federation*  
*l-di@yandex.ru*  
*SPIN-code: 8114-4396*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7065-0234>*  
*ResearcherID: T-8555-2017*  
*Scopus Author ID: 26323414700*

**Yana N. Pakhomova**, PhD in Psychology, Senior Researcher; Associate Professor  
*National Research Tomsk State University; Chelyabinsk State University*  
*36, Lenin Ave., Tomsk, Tomsk Region, 634050, Russian Federation; 129, Brothers Kashirin Str., Chelyabinsk, 454001, Russian Federation*  
*sizova159@yandex.ru*  
*SPIN-code: 2960-1491*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9000-7238>*  
*ResearcherID: B-4702-2018*  
*Scopus Author ID: 57200443965*

**Irina V. Ponomareva**, Candidate of Psychological Sciences, Associate Professor, Senior Researcher; Head of Department; Deputy Director  
*National Research Tomsk State University; Chelyabinsk State University; Ural Branch of the Financial University under the Government of the Russian Federation*

*36, Lenin Ave., Tomsk, Tomsk Region, 634050, Russian Federation; 129, Brothers Kashirin Str., Chelyabinsk, 454001, Russian Federation; 58, Rabotnits Str., Chelyabinsk, 454001, Russian Federation*  
*ivp-csu@yandex.ru*

*SPIN-code: 8645-9023*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8600-3533>*

*ResearcherID: E-8773-2017*

*Scopus Author ID: 57200443546*

#### **ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ**

**Сергиенко Елена Алексеевна**, доктор психологических наук, профессор, главный научный сотрудник

*Институт психологии Российской академии наук*

*ул. Ярославская, 13, г. Москва, 129366, Российская Федерация*  
*elenas13@mail.ru*

**Циринг Диана Александровна**, доктор психологических наук, профессор, главный научный сотрудник; директор

*Национальный исследовательский «Томский государственный университет»; Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Уральский филиал)*

*пр. Ленина, 36, г. Томск, 634050, Российская Федерация; ул. Работниц, 58, г. Челябинск, 454001, Российская Федерация*  
*l-di@yandex.ru*

**Пахомова Яна Николаевна**, кандидат психологических наук, старший научный сотрудник; доцент

*Национальный исследовательский «Томский государственный университет»; Челябинский государственный университет*  
*пр. Ленина, 36, г. Томск, 634050, Российская Федерация; ул. Братьев Кашириных, 129, г. Челябинск, 454001, Российская Федерация*

*sizova159@yandex.ru*

**Пономарева Ирина Владимировна**, кандидат психологических наук, доцент, старший научный сотрудник; зав. кафедрой; зам. директора *Национальный исследовательский «Томский государственный университет»*; *Челябинский государственный университет*; *Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Уральский филиал)*  
*пр. Ленина, 36, г. Томск, 634050, Российская Федерация; ул. Братьев Кашириных, 129, г. Челябинск, 454001, Российская Федерация; ул. Работниц, 58, г. Челябинск, 454001, Российская Федерация*  
*ivr-csu@yandex.ru*

Поступила 23.11.2022

После рецензирования 05.12.2022

Принята 18.12.2022

Received 23.11.2022

Revised 05.12.2022

Accepted 18.12.2022

## НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ И СООБЩЕНИЯ

## SCIENTIFIC REVIEWS AND REPORTS

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-254-278

УДК 613.16



Обзорная статья

**ПАТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ  
ВЛИЯНИЯ СЕЗОННОСТИ НА СОСТОЯНИЕ  
ЗДОРОВЬЯ ПАЦИЕНТОВ С ХРОНИЧЕСКОЙ  
ПАТОЛОГИЕЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ  
СИСТЕМЫ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ**

*И.И. Хамнагадаев, Р.А. Яскевич, О.Л. Москаленко*

*Цель.* Обобщить и систематизировать данные литературы о патогенетических аспектах влияния сезонности на состояние здоровья пациентов с хронической патологией сердечно-сосудистой системы (ССС).

*Материалы и методы.* Для анализа литературы использовались материалы ресурсов PubMed и PubMed Central национальной медицинской библиотеки США, Google Scholar, Elsevier Clinical Key и Elsevier Science Direct, а также в российской базе данных РИНЦ. Выборка состояла из научных работ, посвященных патогенетическим аспектам влияния различных метеорологических факторов на течение сердечно-сосудистой патологии.

*Результаты.* Представленные в настоящем обзоре обобщенные результаты клинических и экспериментальных исследований указывают как на прямое, так и на опосредованное влияние на состояние сердечно-сосудистой системы сезонных изменений температуры воздуха, атмосферного давления, солнечной радиации, влажности воздуха и геомагнитных показателей.

*Заключение.* Метеорологические факторы оказывают выраженное влияние на течение сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) как через прямые механизмы воздействия, так и через включение в патогенез данных заболеваний и усугубление имеющихся факторов риска. Патогенетические механизмы влияния погодных факторов на состояние СССР важны для понимания точек

приложения, на которые можно оказать влияние и улучшить первичную, вторичную профилактику сердечно-сосудистой патологии.

**Ключевые слова:** обзор; метеорологические факторы; сердечно-сосудистые заболевания; патогенетические механизмы

**Для цитирования.** Хамнагадаев И.И., Яскевич Р.А., Москаленко О.Л. Патогенетические аспекты влияния сезонности на состояние здоровья пациентов с хронической патологией сердечно-сосудистой системы: обзор литературы // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №3. С. 254-278. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-254-278

Scientific review

## PATHOGENETIC ASPECTS OF THE INFLUENCE OF SEASONALITY ON THE HEALTH OF PATIENTS WITH CHRONIC PATHOLOGY OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM: LITERATURE REVIEW

*I.I. Khamnagadaev, R.A. Yaskevich, O.L. Moskalenko*

**Purpose.** To summarize and systematize the literature data on the pathogenetic aspects of the influence of seasonality on the health status of patients with chronic pathology of the cardiovascular system.

**Materials and methods.** To analyze the literature, materials from the PubMed and PubMed Central resources of the US National Library of Medicine, Google Scholar; Elsevier Clinical Key and Elsevier Science Direct, as well as in the Russian RSCI database were used. The sample consisted of scientific papers devoted to the pathogenetic aspects of the influence of various meteorological factors on the course of cardiovascular pathology.

**Results.** The generalized results of clinical and experimental studies presented in this review indicate both direct and indirect effects on the state of the cardiovascular system of seasonal changes in air temperature, atmospheric pressure, solar radiation, air humidity and geomagnetic indicators.

**Conclusion.** Meteorological factors have a pronounced effect on the course of cardiovascular diseases both through direct mechanisms of influence, and through the inclusion in the pathogenesis of these diseases and the aggravation of existing risk factors. The pathogenetic mechanisms of the influence of weather factors on the

*state of the cardiovascular system are important for understanding the application points that can be influenced and improved by primary and secondary prevention of cardiovascular pathology.*

**Keywords:** *review; meteorological factors; cardiovascular diseases; pathogenetic mechanisms*

**For citation.** *Khamnagadaev I.I., Yaskevich R.A., Moskalenko O.L. Pathogenetic Aspects of the Influence of Seasonality on the Health of Patients with Chronic Pathology of the Cardiovascular System: Literature Review. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 254-278. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-254-278*

## **Введение**

В последнее время особо актуальным для ученых стал вопрос изучения влияния различных метеорологических факторов на функциональное состояние систем организма, изменение гомеостаза и регуляторных механизмов. Особую значимость данные исследования принимают для здравоохранения тех стран и регионов, в которых имеются климатические пояса с выраженными перепадами метеорологических показателей. Одной из таких стран является Российская Федерация, а к регионам с экстремальными погодными условиями относится Сибирь и Крайний Север [7, 15, 16, 17].

Экстремальные условия Крайнего Севера ухудшают качественные характеристики здоровья, снижают резервные возможности гомеостатических систем и могут способствовать возникновению патологии [7, 18, 19, 20, 67]. К числу значимых отрицательных стресс-факторов в условиях Крайнего Севера, отражающихся на самочувствии, умственной и физической работоспособности, физическом развитии, степени тяжести течения заболевания, можно отнести воздействие низких температур, длительное световое голодание, резкие перепады атмосферного давления, изменения парциального давления кислорода, магнитные бури, сезонную зависимость физического состояния и др. [1, 2]. В связи с ростом напряжения экологической обстановки, организм, проживающих в этих регионах людей должен адаптироваться, помимо метеорологических, еще и к антропогенным факторам внешней среды [3, 4, 6, 8, 9, 10, 13].

Наиболее зависимыми от климатических условий являются пациенты с заболеваниями сердечно-сосудистой системы (ССС), вегетативной нервной системы и психическими расстройствами. А у пациентов с хронической патологией ССС изменение метеорологических показателей приводят к увеличению числа осложнений и смертельных случаев [2, 5, 11, 12, 24].

Исследование патогенетических механизмов влияния метеорологических показателей на течение сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) является важным аспектом в работе врачей терапевтических специальностей, которое позволяет корректировать подходы к первичной, вторичной профилактике и методам лечения пациентов с хронической патологией ССС.

### **Материалы и методы**

Для анализа литературы использовались материалы ресурсов PubMed и PubMed Central национальной медицинской библиотеки США, Google Scholar, Elsevier Clinical Key и Elsevier Science Direct, а также в российской базе данных РИНЦ.

Выборка состояла из научных работ, посвященных патогенетическим аспектам влияния различных метеорологических факторов на течение сердечно-сосудистой патологии. Были выбраны научные работы, которые указывали как на прямое, так и на опосредованное влияние сезонных изменений таких метеорологических факторов, как температуры воздуха, атмосферного давления, солнечной радиации, влажности воздуха, геомагнитных показателей.

### **Результаты и обсуждение**

На развитие сердечно-сосудистой патологии и обострение таких заболеваний оказывают влияние многочисленные экзо- и эндогенные факторами. Множество из них поддаются модификации при воздействии комплекса метеорологических факторов, а особенно быстрого их изменения. Такое воздействие происходит по пути прямого влияния погодных условий, а также с помощью их опосредованного влияния через дезадаптивное изменение системы гомеостаза и/или модифицируемых факторов риска, таких как диета и физическая активность.

Описано прямое влияние различных метеорологических факторов на состояние сердечно-сосудистой системы. Первым из таковых является температура окружающей среды. Механизм, который позволяет объяснить взаимосвязь между ССЗ и температурой является недостаточно изученным. В тоже время доказано влияние низких температур на активацию симпатической нервной системы, стимуляцию РААС, что обуславливает повышение выделения ангиотензина 2 (АТII), а также повышенное выделение гормонов надпочечников – катехоламинов [14]. У пациентов с прежде измененными коронарными артериями возможно возникновение ишемии миокарда, то есть стенокардии, в том числе нестабильной, и ин-

фаркта миокарда (ИМ) [22, 26, 33, 39]. Была доказана статистически значимая корреляция между атмосферным давлением, влажностью воздуха и частотой случаев тромбоэмболии легочной артерии [43]. Также была определена связь между скоростью ветра, температурой и сезонным повышением случаев глубокого венозного тромбоза. Было также отмечено, что атмосферного давления на каждые 7,5 мм. рт.ст. повышало частоту данной патологии на 2,1% [25]. Исследования влияния температуры на факторы релаксации сосудов у крыс показали, что повышение температуры окружающей среды или температуры тела повышает эндогенный синтез оксида азота, снижение температуры действует противоположно – уменьшая синтез данного фактора, что вызывало гипертензию [41, 70]. Барометрическое давление может быть еще одним фактором, опосредующим влияние сезонных колебаний на возникновение пароксизмов ФП [30, 35]. Gluszak A. с соавт. (2008) продемонстрировали, что атмосферное давление, в частности фронты низкого давления, увеличивает риск пароксизмов ФП [35]. Интересно, что риск был наибольшим за 24-48 часов до фактического изменения барометрического давления.

Немаловажной является роль экспозиции в нижних слоях атмосферы таких загрязнителей, как сложные смеси газов, жидкостей и твердых примесей. Эпидемиологические исследования показали тенденцию к повышению риска сердечно-сосудистых событий при коротком и длительном воздействии высоких концентраций ультрадисперсных частиц (УДЧ) в атмосфере [28]. Для объяснения данной связи было предложено множество биологических механизмов. Исследования показали, что повышение концентрации частиц PM<sub>2.5</sub> были связаны с повышением риска ИМ во время двух периодов времени (в течение 2 ч и спустя 1 день после воздействия). Результаты других современных научных работ указывают на то, что связь между кратковременной и/или хронической экспозицией высоких уровней УДЧ и сердечно-сосудистыми событиями могут быть связаны с увеличением частоты сердечных сокращений, АД, концентрации фибриногена, факторов свертывания крови, возникновением вазоспазма, эндотелиальной дисфункции [32]. Вышеперечисленные эффекты могут приводить к ишемии миокарда, злокачественной желудочковой экстрасистолии, увеличению риска острого тромбоза [47, 50] Также важным является эффект пассивного курения, который заключается в быстром ухудшение эндотелиальной функции, что способствует развитию атеросклеротической бляшки [52, 66, 69]. Во многих исследованиях доказана связь сезонности и концентрации УДЧ в нижних отделах атмосферы, концентрация PM<sub>2.5</sub>,

PM10 была выше зимой, чем в другие времена года [37, 41]. Это может быть связано с более широким применением топлива в течение зимы, а также наличием застойных воздушных масс, сформированных из-за низкой температуры и низкой скорости ветра [54].

Метеорологические факторы также оказывают влияние на модифицируемые факторы, такие как диета и физическая активность. Уровни физической активности у как у мужчин, так и у женщин значительно выше летом, чем зимой [49]. Несомненной является сильная положительная корреляционная связь сниженной физической активности с частотой острых ССС-патологий. Пешая ходьба, езда на велосипеде и работа в саду оказывает защитное действие от острых коронарных событий [57, 61]. Один из основных механизмов, через которые физическая активность влияет на ССС – улучшение эндотелиальной функции, которая заключается в поддержании нормального тонуса сосудов, регуляции вязкости крови и васкуляризации. Функциональные отклонения эндотелия приводят к различным патологиям, включая вазоспазм, гипертонию и ИМ. Физическая нагрузка, увеличивая скорость кровотока, приводит к обусловленному эндотелием расширению сосудов. Постоянная физическая нагрузка улучшает эндотелиальную функцию в экспериментальном исследовании на животных, а также в некоторых ограниченных клинических исследованиях [59]. Иной предложенный механизм заключается в уменьшении активности симпатической нервной системы, повышение которой является важным механизмом формирования артериальной гипертонии [48]. Также компоненты диеты, индекс массы тела (ИМТ) и уровень атерогенных фракций холестерина сыворотки имеет прямую зависимость от сезонности [58]. Несколько эпидемиологических исследований продемонстрировали связь между избыточным весом, высоким артериальным давлением (АД), увеличением общего холестерина сыворотки и ССЗ. Исследования показали статистически значимую взаимосвязь между повышенными уровнями общего холестерина, холестерина ЛПНП и случаями возникновения и прогрессирования хронической сердечной недостаточности [58]. Также множество научных трудов указывают на влияние увеличенного потребления некоторых жирных кислот на повышение атерогенных фракций холестерина и развитие атеросклеротического процесса. При сравнении сезонного потребления жирных кислот, оказалось, что таковое значительно ниже летом [56]. Другое исследование показало, что в холодное время года отмечается увеличение ИМТ, АД и атерогенных фракций холестерина сыворотки, что в свою очередь является причиной увеличения острых сердечно-сосудистых событий зимой [58].

Также многие биохимические показатели претерпевают сезонных изменений, оказывая влияние на ССС. Повышение уровня холестерина в плазме крови доказано повышает риск развития сердечно-сосудистых заболеваний и частоту смертельных исходов. Уровень холестерина достоверно коррелирует с эндотелиальной дисфункцией и уменьшением биодоступности оксида азота, что может приводить к функциональной артериальной гипертензии. Окислительный стресс, возникающий в результате дисбаланса между образованием активных форм кислорода и активностью системы поглощения антиоксидантов, приводит к повышению уровня пероксида, супероксида, гидроксильного радикала, синглетного кислорода и альфа-кислорода, что в свою очередь способствуют развитию атеросклеротических сердечно-сосудистых заболеваний и их осложнениям [51]. Окислительный стресс обуславливает снижение функции почечных допаминовых рецепторов, что приводит к задержке Na и повышению артериального давления [23]. Данные изменения имеют сезонную вариабельность, так как многие исследования указывают на повышение уровня плазменного холестерина в холодное и соответственно – снижение в теплое время года.

Одним из важных патогенетических факторов в развитии сердечно-сосудистой патологии является изменения уровня витамина D. Вариабельность уровня 1,25(OH)2D в плазме крови характеризуется повышением содержания витамина на протяжении весны и осени, и его понижением осенью и зимой. Дефицит Витамина D связан с такими факторами риска заболеваний ССС, как гипертония и сахарный диабет, с маркерами субклинического атеросклероза, такими как истончение интимы и коронарная кальцификация, а также с сердечно-сосудистыми событиями, такими как инсульт, инфаркт миокарда и хроническая сердечная недостаточность [36]. Несколько исследований продемонстрировали более низкие уровни метаболитов витамина D у пациентов с ишемической болезнью сердца (ИБС) и АГ. Соотношение уровня витамина D и ИБС не зависит от курения, индекса массы тела, лечения гипертонии, уровня физической деятельности, общего холестерина сыворотки и наличия в анамнезе стенокардии или ИМ [71]. Было предложено несколько механизмов связи между снижением уровня 1,25(O)2D и сердечно-сосудистым заболеванием. Научные исследования показали, что витамин D оказывает непосредственное влияние на сердечную мышцу, контролирует продукцию паратгормона, регулирует ренин-ангиотензин-альдостероновую систему (РААС) и модулирует пролиферацию гладкомышечных клеток, воспалительный и тромбообразо-

вательный процессы [44]. Эти эффекты обуславливают влияние уровня 1,25(O)2D на развитие ССС. Таким образом, большая экспозиция ультрафиолетового излучения в летний период, предположительно, оказывает защитное действие против возникновения патологий ССС.

За прошлое десятилетие были накоплены многочисленные свидетельства сильной корреляционной связи плазменного уровня фибриногена и VII фактора свертывания крови с такими патологиями ССС, как инсульт, ИБС. Установлена сезонная изменчивость с пиковыми концентрациями фибриногена и VII фактора свертывания крови в течение холодных месяцев [31]. Было предложено несколько механизмов повышения уровня фибриногена в холодное время года, одним из которых было влияние острофазовых показателей, которые повышались в ответ на инфекционные заболевания [31, 64]. Механизм воздействия фибриногена на развитие патологии ССС заключается в его участии в процессе формирования атеросклеротической бляшки, повреждении эндотелиальной функции, увеличении агрегации тромбоцитов при взаимодействии с тромбоцитарными рецепторами гликопротеина IIb/IIIa, увеличении вязкости крови [26]. Повышение концентрации данных факторов приводит к гиперкоагуляции, которая может привести к повышению риска патологии ССС и смертности.

Предположительно важную роль в сезонном изменении АД играют такие гормоны и вазоактивные вещества, как вазопрессин, норадреналин (НА), адреналин, АТII, альдостерон и катехоламины. Исследования последних лет показали, что у пациентов с эссенциальной артериальной гипертензией повышение концентрации плазменного норадреналина, выделение катехоламинов с мочой значительно выше зимой, чем летом [46]. Одна из научных работ показала, что воздействие холодного воздуха в течение 30 минут приводит к уменьшению уровня вазопрессина в плазме крови [65]. В одном из исследований было обнаружено повышение уровня плазменного альдостерона на 59% в период с лета до зимы, тогда как концентрации плазменного НА, адреналин и ренина увеличились на 19%, 2% и 17%, соответственно [53]. В проведенном немецкими учеными исследовании, уровни эндотелина-1 в холодное время года были значительно ниже, чем в летние месяцы, а изменение концентрации АТII было сопоставимо с таковым для эндотелина [40]. Также в одном из исследований было определено воздействие холодного воздуха на уровни гормонов щитовидной железы. Было определено, что данный фактор вызывает снижение сывороточных  $T_3$ ,  $T_4$ , и увеличивает продукцию ТТГ [62]. Гормоны щитовидной железы оказывают выраженное действие на функциональное состояние ССС с помощью нескольких меха-

низмов: увеличение ЧСС, инотропного эффекта на миокард, способности вызывать дилатацию периферических артерий. Чрезмерный дефицит гормонов щитовидной железы может вызвать развитие сердечно-сосудистых заболеваний, а также их обострение.

В последнее время уделяется много внимания участию инфекционных агентов в формировании ССЗ. Согласно данным многочисленных исследований, в патогенезе атеросклероза принимает участие множество микробных агентов, включая вирус гриппа, *Chlamydia pneumoniae* и *Helicobacter pylori*. Много научных работ показали взаимосвязь сезонных изменений ССС и большей распространенностью инфекционных заболеваний в холодное время года [29]. Респираторные инфекции могут увеличивать риск развития ССЗ, повышая плазменный уровень фибриногена и ингибируя фибринолиз через воздействие эндотоксина [49]. Кроме того, тахикардия и увеличение сердечного выброса, которые сопровождают многие острые инфекционные заболевания, могут вызывать спазмы сосудов, пораженных атеросклеротическим процессом. Это, в свою очередь, может привести к развитию острых коронарных событий вследствие нарушения целостности атеросклеротической бляшки. Множество научных исследований были направлены на зависимость заболеваемости острыми респираторными инфекционными заболеваниями и частоты возникновения острых коронарных синдромов. Одно из исследований указывает на положительную корреляционную связь между заболеваемостью гриппом и возникновением инфаркта миокарда. Также была определена эффективность противогриппозной вакцинации в направлении снижения риска острой коронарной патологии у пациентов с ранее зарегистрированными ССЗ [63]. Кроме того, недавние исследования подтверждают связь между предшествующим заражением *Chlamydia pneumoniae* и атеросклерозом [38]. Ранее научные работы установили, что у пациентов с острым инфарктом миокарда или ИБС титры хламидийных антигенов были выше, чем у пациентов контрольной группы [21, 44]. Было также отмечено сезонное изменение частоты патологий, обусловленных *Chlamydia pneumoniae* с пиком между февралем и апрелем и самой низкой распространенностью от июня до октября [34, 55, 60].

## **Выводы**

Метеорологические факторы оказывают выраженное влияние на течение ССЗ как через прямые механизмы воздействия, так и через включение в патогенез данных заболеваний и усугубление имеющихся факторов риска. Наибольшее влияние оказывают температура воздуха, атмосферное

давление, а особенно – их быстрое изменение. Патогенетические механизмы влияния погодных факторов на состояние ССС важны для понимания точек приложения, на которые можно оказать влияние и улучшить первичную, вторичную профилактику сердечно-сосудистой патологии.

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

**Информация о спонсорстве.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

### *Список литературы*

1. Багнетова Е. Л. Особенности адаптации, психологического и функционального состояния организма человека в условиях Севера // Вестн. Рос. унта дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2014. № 4. С. 63-69.
2. Беляева В. А. Влияние метеофакторов на частоту повышения артериального давления // Анализ риска здоровью. 2016. № 4. С. 17-22. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2016.4.02>
3. Дударев А. А., Одланд Й. О. Здоровье человека в связи с загрязнением Арктики – результаты и перспективы международных исследований под эгидой АМАП // Экология человека. 2017. № 9. С. 3-14. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2017-9-3-14>
4. Колпакова А. Ф., Шарипов Р. Н., Колпаков Ф. А. Загрязнения воздуха взвешенными частицами как фактор риска сердечно-сосудистых заболеваний // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96(2). С. 133-137. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-2-133-137>
5. Колягина Н. М., Бережнова Т. А., Клепиков О. В. и др. Метеорологическая обстановка урбанизированной территории как фактор возникновения у населения заболеваний сердечно-сосудистой системы // Региональные геосистемы. 2021. Т. 45(3). С. 414-430. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2021-45-3-414-430>
6. Москаленко О. Л., Пуликов А. С. Оценка уровня тревожности юношей в условиях санитарно-защитной зоны горно-химического комбината (ГХК) // В мире научных открытий. 2015. № 2(62). С. 108-125. <https://doi.org/10.12731/wsd-2015-2-7>
7. Поликарпов Л. С., Лапко И. И., Хамнагадаев И. И., Яскевич Р. А. Метеотропные реакции сердечно-сосудистой системы и их профилактика. Новосибирск: Наука, 2005. 196 с.

8. Пуликов А. С., Москаленко О. Л. Адаптационные возможности юношей с разным профилем полушарной асимметрии в условиях радиоактивного загрязнения окружающей среды // В мире научных открытий. 2015. № 4-2 (64). С. 802-808.
9. Пуликов А. С., Москаленко О. Л. Особенности экологической морфологии юношей Сибири в условиях городского антропогенного загрязнения // В мире научных открытий. 2015. № 6-1 (66). С. 393-407.
10. Пуликов А. С., Москаленко О. Л. Состояние психоэмоциональной сферы у юношей в условиях антропогенного загрязнения // В мире научных открытий. 2015. №7(67). С. 147-162. <https://doi.org/10.12731/wsd-2015-7-11>
11. Ревич Б. А., Шапошников Д. А. Особенности воздействия волн холода и жары на смертность в городах с резко-континентальным климатом // Сибирское медицинское обозрение. 2017. №2(104). С. 84-90. <https://doi.org/10.20333/2500136-2017-2-84-90>
12. Салтыкова М. М., Балакаева А. В., Федичкина Т. П., Бобровницкий И. П. Основные причины смертности, обусловленной загрязнением воздуха // Гигиена и санитария. 2020. Т. 99 (4). С. 337-343. <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-4-337-343>
13. Салтыкова М. М., Бобровницкий И. П., Балакаева А. В. Влияние загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения арктического региона: обзор литературы // Экология человека. 2020. №4. С. 48-55. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-4-48-55>
14. Салтыкова М. М., Бобровницкий И. П., Яковлев М. Ю., Банченко А. Д. Влияние погоды на пациентов с болезнями системы кровообращения: главные направления исследований и основные проблемы // Экология человека. 2018. №6. С. 43-51.
15. Сергейчик О. И., Ярославская Е. И., Плюснин А. В. Влияние факторов внешней среды на риск сердечно-сосудистых заболеваний населения Арктики // Журнал медико-биологических исследований. 2022. Т. 10(1). С. 64–72. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z091>
16. Хаснулин В. И. Психоэмоциональный стресс и метеореакция как системные проявления дизадаптации человека в условиях изменения климата на Севере России // Экология человека. 2012. №8. С. 3-7.
17. Хаснулин В. И., Гафаров В. В., Воевода М. И. и др. Влияние метеорологических факторов в различные сезоны года на частоту возникновения осложнений гипертонической болезни у жителей г. Новосибирска // Экология человека. 2015. №7. С. 3-8.
18. Яскевич Р. А., Москаленко О. Л. Анализ частоты и структуры заболеваний сердечно-сосудистой системы у мигрантов Крайнего Севера в период реа-

- даптации к новым климатическим условиям // В мире научных открытий. 2017. № 9(4-2). С. 41-58. <https://doi.org/10.12731/wsd-2017-4-2-41-58>
19. Яскевич Р. А., Москаленко О. Л. Особенности вариантов ремоделирования левого желудочка у мужчин мигрантов Крайнего Севера с артериальной гипертонией, различных конституциональных типов // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2020. Т. 12(5). С. 150-164. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2020-12-5-150-164>
  20. Яскевич Р. А., Москаленко О. Л. Особенности показателей суточного мониторинга артериального давления у лиц пожилого возраста с артериальной гипертонией, ранее проживавших в условиях Заполярья // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13(3). С. 11-28. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-3-11-28>
  21. Agarwal A., Chander Y., Nagendra A. Serological Evidence of Chronic Chlamydia pneumoniae Infection in Coronary Artery Disease // Med. J. Armed. Forces India. 2007. Vol. 63(3). P. 229-232. [https://doi.org/10.1016/S0377-1237\(07\)80141-9](https://doi.org/10.1016/S0377-1237(07)80141-9)
  22. Bakal J. A., Ezekowitz J. A., Westerhout C. M. et al. Association of global weather changes with acute coronary syndromes: gaining insights from clinical trials data // Int. J. Biometeorol. 2013. Vol. 57(3). С. 401-408. <https://doi.org/10.1007/s00484-012-0565-3>
  23. Banday A. A., Lau Y. S., Lokhandwala M. F. Oxidative stress causes renal dopamine D1 receptor dysfunction and salt-sensitive hypertension in Sprague-Dawley rats // Hypertension. 2008. Vol. 51(2). P. 367-375. <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.107.102111>
  24. Breitner S., Wolf K., Peters A., Schneider A. Short-term effects of air temperature on cause-specific cardiovascular mortality in Bavaria, Germany // Heart. 2014. Vol. 100(16). P. 1272-1280. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2014-305578>
  25. Brown H. K., Simpson A. J., Murchison J. T. The influence of meteorological variables on the development of deep venous thrombosis // Thromb. Haemost. 2009. Vol. 102(4). P. 676-682. <https://doi.org/10.1160/TH09-04-0214>
  26. Canseco-Avila L. M., Jerjes-Sánchez C., Ortiz-López R. et al. Fibrinogen. Cardiovascular risk factor or marker? // Arch. Cardiol. Mex. 2006. Vol. 76 (Suppl 4). P. 158-172.
  27. Chau P. H., Wong M., Woo J. Ischemic heart disease hospitalization among older people in a subtropical city-Hong Kong: does winter have a greater impact than summer? // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2014. Vol. 11(4). P. 3845-3858. <https://doi.org/10.3390/ijerph110403845>
  28. Chen X., Cao Q., Liu C., Xu C. Research on meteorological conditions and their related diseases in Hefei, China // Ann. N. Y. Acad. Sci. 2008. Vol. 1140. P. 86-90. <https://doi.org/10.1196/annals.1454.039>

29. Chen Z. R., Ji W., Wang Y. Q. et al. Etiology of acute bronchiolitis and the relationship with meteorological conditions in hospitalized infants in China // *J. Formos. Med. Assoc.* 2014. Vol. 113(7). P. 463-469. <https://doi.org/10.1016/j.jfma.2012.12.013>.
30. Chung F. P., Li H. R., Chong E. et al. Seasonal variation in the frequency of sudden cardiac death and ventricular tachyarrhythmia in patients with arrhythmogenic right ventricular dysplasia/cardiomyopathy: the effect of meteorological factors // *Heart Rhythm.* 2013. Vol. 10(12). P. 1859-1866. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2013.09.069>
31. Crawford V. L., McNerlan S. E., Stout R. W. Seasonal changes in platelets, fibrinogen and factor VII in elderly people // *Age Ageing.* 2003. Vol. 32(6). P. 661-665. <https://doi.org/10.1093/ageing/afg113>
32. Donaldson K., Stone V., Seaton A., MacNee W. Ambient particle inhalation and the cardiovascular system: potential mechanisms // *Environ. Health Perspect.* 2001. Vol. 109 (Suppl 4). P. 523-527. <https://doi.org/10.1289/ehp.01109s4523>
33. Ezekowitz J. A., Bakal J. A., Westerhout C. M. et al. The relationship between meteorological conditions and index acute coronary events in a global clinical trial // *Int. J. Cardiol.* 2013. Vol. 168(3). P. 2315-2321. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2013.01.061>
34. Gerardi D. A., Kellerman R. A. Climate change and respiratory health // *J. Occup. Environ. Med.* 2014. Vol. 56 (Suppl 10). P. 49-54. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000000292>
35. Głuszek A., Kocoń S., Zuk K. et al. Episodes of atrial fibrillation and meteorological conditions // *Kardiol. Pol.* 2008. Vol. 66(9). P. 958-963.
36. Gouni-Berthold I., Krone W., Berthold H.K. Vitamin D and cardiovascular disease // *Curr. Vasc. Pharmacol.* 2009. Vol. 7(3). P. 414-422. <https://doi.org/10.2174/157016109788340686>
37. He K., Yang F., Ma Y. et al. The characteristics of PM2.5 in Beijing, China // *Atmos. Environ.* 2001. Vol. 38. P. 4959-4970.
38. Ieven M. M., Hoymans V. Y. Involvement of Chlamydia pneumoniae in atherosclerosis: more evidence for lack of evidence // *J. Clin. Microbiol.* 2005. Vol. 43(1). P. 19-24. <https://doi.org/10.1128/JCM.43.1.19-24.2005>
39. Ishikawa K., Niwa M., Tanaka T. Difference of intensity and disparity in impact of climate on several vascular diseases // *Heart Vessels.* 2012. Vol. 27(1). P. 1-9. <https://doi.org/10.1007/s00380-011-0206-5>
40. Kruse H. J., Wiecek I., Hecker H. et al. Seasonal variation of endothelin-1, angiotensin II, and plasma catecholamines and their relation to outside temperature // *J Lab. Clin. Med.* 2002. Vol. 140(4). P. 236-241. <https://doi.org/10.1067/mlc.2002.127169>

41. Latha K. M., Badarinath K. V. Seasonal variations of PM10 and PM2.5 particles loading over tropical urban environment // *Int. J. Environ. Health. Res.* 2005. Vol. 15(1). P. 63-68. <https://doi.org/10.1080/09603120400018964>
42. Luo B., Zhang S., Ma S. et al. Effects of different cold-air exposure intensities on the risk of cardiovascular disease in healthy and hypertensive rats // *Int. J. Biometeorol.* 2014. Vol. 58(2). P. 185-194. <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0641-3>
43. Meral M., Mirici A., Aslan S. et al. Barometric pressure and the incidence of pulmonary embolism // *Chest.* 2005. Vol. 128(4). P. 2190-2194. <https://doi.org/10.1378/chest.128.4.2190>
44. Monno R., Fumarola L., Trerotoli P. et al. Seroprevalence of *Chlamydomphila pneumoniae* in ischaemic heart disease // *New Microbiol.* 2010. Vol. 33(4). P. 381-385.
45. Nemerovski C. W., Dorsch M. P., Simpson R. U. et al. Vitamin D and cardiovascular disease // *Pharmacotherapy.* 2009. Vol. 29(6). P. 691-708. <https://doi.org/10.1592/phco.29.6.691>
46. Pääkkönen T., Leppäluoto J. Cold exposure and hormonal secretion: a review // *Int. J. Circumpolar. Health.* 2002. Vol. 61(3). P. 265-76. <https://doi.org/10.3402/ijch.v61i3.17474>
47. Pekkanen J., Peters A., Hoek G. et al. Particulate air pollution and risk of ST-segment depression during repeated submaximal exercise tests among subjects with coronary heart disease: the Exposure and Risk Assessment for Fine and Ultrafine Particles in Ambient Air (ULTRA) study // *Circulation.* 2002. Vol. 106(8). P. 933-938. <https://doi.org/10.1161/01.cir.0000027561.41736.3c>
48. Pescatello L. S., Franklin B. A., Fagard R. et al. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and hypertension // *Med. Sci. Sports. Exerc.* 2004. Vol. 36(3). P. 533-553. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000115224.88514.3a>
49. Peters A., Dockery D. W., Muller J. E., Mittleman M. A. Increased particulate air pollution and the triggering of myocardial infarction // *Circulation.* 2001. Vol. 103(23). P. 2810-2815. <https://doi.org/10.1161/01.cir.103.23.2810>
50. Peters A., Liu E., Verrier R.L. et al. Air pollution and incidence of cardiac arrhythmia // *Epidemiology.* 2000. Vol. 11(1). P. 11-17. <https://doi.org/10.1097/00001648-200001000-00005>
51. Petrucci G., Rizzi A., Hatem D. et al. Role of Oxidative Stress in the Pathogenesis of Atherothrombotic Diseases // *Antioxidants (Basel).* 2022. Vol. 11(7), 1408. <https://doi.org/10.3390/antiox11071408>
52. Pinnamaneni K., Sievers R. E., Sharma R. et al. Brief exposure to secondhand smoke reversibly impairs endothelial vasodilatory function // *Nicotine Tob. Res.* 2014. Vol. 16(5). P. 584-590. <https://doi.org/10.1093/ntr/ntt189>

53. Radke K. J., Izzo J. L. Jr. Seasonal variation in haemodynamics and blood pressure-regulating hormones // *J. Hum. Hypertens.* 2010. Vol. 24(6). P. 410-416. <https://doi.org/10.1038/jhh.2009.75>
54. Raja N. B., Aydin O., Türkoğlu, N. et al. Characterising the Seasonal Variations and Spatial Distribution of Ambient PM10 in Urban Ankara, Turkey // *Environ. Process.* 2018. Vol. 5. P. 349-362. <https://doi.org/10.1007/s40710-018-0305-8>
55. Rassa M., Lauro F. M., Cazzavillan S. et al. Detection of Chlamydia pneumoniae DNA in peripheral blood mononuclear cells of blood donors in the north-east of Italy // *Med. Microbiol. Immunol.* 2001. Vol. 190(3). P. 139-144. <https://doi.org/10.1007/s004300100092>
56. Rossato S. L., Olinto M. T., Henn R. L. et al. Seasonal effect on nutrient intake in adults living in Southern Brazil // *Cad. Saude Publica.* 2010. Vol. 26(11). P. 2177-2187. <https://doi.org/10.1590/s0102-311x2010001100019>
57. Samawi H. M. Daily walking and life expectancy of elderly people in the iowa 65+ rural health study // *Front Public Health.* 2013. Vol. 1, 11. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2013.00011>
58. Shahar D. R., Froom P., Harari G. et al. Changes in dietary intake account for seasonal changes in cardiovascular disease risk factors // *Eur. J. Clin. Nutr.* 1999. Vol. 53(5). P. 395-400. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1600761>
59. Sherman D. L. Exercise and endothelial function // *Coron. Artery Dis.* 2000. Vol. 11. P. 117-122.
60. Smieja M., Leigh R., Petrich A. et al. Smoking, season, and detection of Chlamydia pneumoniae DNA in clinically stable COPD patients // *BMC Infect. Dis.* 2002. Vol. 2, 12. <https://doi.org/10.1186/1471-2334-2-12>
61. Stigell E., Schantz P. Active Commuting Behaviors in a Nordic Metropolitan Setting in Relation to Modality, Gender, and Health Recommendations // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2015. Vol. 12(12). P. 15626-15648. <https://doi.org/10.3390/ijerph121215008>
62. Tsubulnikov S., Maslov L., Voronkov N., Oeltgen P. Thyroid hormones and the mechanisms of adaptation to cold // *Hormones (Athens).* 2020. Vol. 19(3). P. 329-339. <https://doi.org/10.1007/s42000-020-00200-2>
63. Warren-Gash C., Smeeth L., Hayward A.C. Influenza as a trigger for acute myocardial infarction or death from cardiovascular disease: a systematic review // *Lancet. Infect. Dis.* 2009. Vol. 9(10). P. 601-610. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(09\)70233-6](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(09)70233-6)
64. Wilker E. H., Yeh G., Wellenius G. A. et al. Ambient temperature and biomarkers of heart failure: a repeated measures analysis // *Environ. Health. Perspect.* 2012. Vol. 120(8). P. 1083-1087. <https://doi.org/10.1289/ehp.1104380>

65. Wittert G. A., Or H. K., Livesey J. H. et al. Vasopressin, corticotrophin-releasing factor, and pituitary adrenal responses to acute cold stress in normal humans // *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 1992. Vol. 75(3). P. 750-755. <https://doi.org/10.1210/jcem.75.3.1517364>
66. Woo K. S., Chook P., Leong H. C. et al. The impact of heavy passive smoking on arterial endothelial function in modernized Chinese // *J. Am. Coll. Cardiol.* 2000. Vol. 36(4). P. 1228-1232. [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(00\)00860-3](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(00)00860-3)
67. Yaskevich R. A., Moskalenko O. L. Analysis of the incidence and structure of the cardiovascular system diseases in the Far North migrants over the period of readaptation to the new climatic conditions // *В мире научных открытий.* 2017. № 9(4-2). P. 59-73. <https://doi.org/10.12731/wsd-2017-4-2-59-73>
68. Yaskevich R. A., Moskalenko O. L. Anthropometric characteristics and component composition of body weight in male migrants of the far north with arterial hypertension // *В мире научных открытий.* 2017. Т. 9. № 4. С. 47-63.
69. Zhang X., Zhang S., Wang C. et al. Effects of moderate strength cold air exposure on blood pressure and biochemical indicators among cardiovascular and cerebrovascular patients // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2014. Vol. 11(3). P. 2472-2487. <https://doi.org/10.3390/ijerph110302472>
70. Zhu Z., Zhu S., Zhu J. et al. Endothelial dysfunction in cold-induced hypertensive rats // *Am. J. Hypertens.* 2002. Vol. 15(2 Pt 1). P. 176-180. [https://doi.org/10.1016/s0895-7061\(01\)02268-3](https://doi.org/10.1016/s0895-7061(01)02268-3)
71. Zittermann A., Schleithoff S., Koerfer R. Putting cardiovascular disease and vitamin D insufficiency into perspective // *British Journal of Nutrition.* 2005. Vol. 94(4). P. 483-492. <https://doi.org/10.1079/BJN20051544>

### **References**

1. Bagnetova E. L. Osobennosti adaptatsii, psikhologicheskogo i funktsional'nogo sostoyaniya organizma cheloveka v usloviyakh Severa [Features of adaptation, psychological and functional state of the human body in the conditions of the North]. *Vestn. Ros. un-ta druzhby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Ecology and life safety], 2014, no. 4, pp. 63-69.
2. Belyaeva V. A. Vliyaniye meteofaktorov na chastotu povysheniya arterial'nogo davleniya [Influence of meteorological factors on the frequency of increase in arterial pressure]. *Analiz riska zdorov'yu* [Health risk analysis], 2016, vol. 4, pp. 17-22. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2016.4.02>
3. Dudarev A. A., Odland Y. O. Zdorov'e cheloveka v svyazi s zagryazneniem Arktiki - rezul'taty i perspektivy mezhdunarodnykh issledovaniy pod egidoy

- AMAP [Human health in connection with the pollution of the Arctic - the results and prospects of international research under the auspices of AMAP]. *Ekologiya cheloveka* [Human ecology], 2017, vol. 9, pp. 3-14. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2017-9-3-14>
4. Kolpakova A. F., Sharipov R. N., Kolpakov F. A. Zagryazneniya vozdukh vzveshennymi chastitsami kak faktor riska serdechno-sosudistyykh zabolevaniy [Air pollution by suspended particles as a risk factor for cardiovascular diseases]. *Gigiya i sanitariya* [Hygiene and sanitation], 2017, vol. 96(2), pp. 133-137. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-2-133-137>
  5. Kolyagina N. M., Berezhnova T. A., Klepikov O. V. et al. Meteorologicheskaya obstanovka urbanizirovannoy territorii kak faktor vozniknoveniya u naseleniya zabolevaniy serdechno-sosudistoy sistemy [Meteorological situation in an urbanized area as a factor in the occurrence of diseases of the cardiovascular system in the population]. *Regional'nye geosistemy* [Regional geosystems], 2021, vol. 45(3), pp. 414-430. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2021-45-3-414-430>
  6. Moskalenko O. L., Pulikov A. S. Otsenka urovnya trevozhnosti yunoshey v usloviyakh sanitarno-zashchitnoy zony gorno-khimicheskogo kombinata (GKhK) [Evaluation of the anxiety level of young men in the conditions of the sanitary protection zone of the mining and chemical plant (MCP)]. *V mire nauchnykh otkrytiy* [In the world of scientific discoveries], 2015, no. 2(62), pp. 108-125. <https://doi.org/10.12731/wsd-2015-2-7>
  7. Polikarpov L. S., Lapko I. I., Khamnagadaev I. I., Yaskevich R. A. *Meteotropnyye reaktsii serdechno-sosudistoy sistemy i ikh profilaktika* [Meteotropic reactions of the cardiovascular system and their prevention]. Novosibirsk: Nauka, 2005, 196 p.
  8. Pulikov A. S., Moskalenko O. L. Adaptatsionnye vozmozhnosti yunoshey s raznym profilem polusharnoy asimmetrii v usloviyakh radioaktivnogo zagryazneniya okruzhayushchey sredy [Adaptation capabilities of young men with different profiles of hemispheric asymmetry in conditions of radioactive contamination of the environment]. *V mire nauchnykh otkrytiy* [In the world of scientific discoveries], 2015, no. 4-2 (64), pp. 802-808.
  9. Pulikov A. S., Moskalenko O. L. Osobennosti ekologicheskoy morfologii yunoshey Sibiri v usloviyakh gorodskogo antropotekhnogenennogo zagryazneniya [Peculiarities of ecological morphology of youths in Siberia under conditions of urban anthropogenic pollution]. *V mire nauchnykh otkrytiy* [In the world of scientific discoveries], 2015, no. 6-1 (66), pp. 393-407.
  10. Pulikov A. S., Moskalenko O. L. Sostoyanie psikhoemotsional'noy sfery u yunoshey v usloviyakh antropotekhnogenennogo zagryazneniya [The state of the

- psycho-emotional sphere in young men in conditions of anthropogenic pollution]. *V mire nauchnykh otkrytiy* [In the world of scientific discoveries], 2015, no. 7(67), pp. 147-162. <https://doi.org/10.12731/wsd-2015-7-11>
11. Revich B. A., Shaposhnikov D. A. Osobennosti vozdeystviya voln kholoda i zhary na smertnost' v gorodakh s rezko-kontinental'nym klimatom [Features of the impact of cold and heat waves on mortality in cities with a sharply continental climate]. *Sibirskoe meditsinskoe obozrenie* [Siberian Medical Review], 2017, no. 2(104), pp. 84-90. <https://doi.org/10.20333/2500136-2017-2-84-90>
  12. Saltykova M. M., Balakaeva A. V., Fedichkina T. P., Bobrovnikskiy I. P. Osnovnye prichiny smertnosti, obuslovlennoy zagryazneniem vozdukh [The main causes of death due to air pollution]. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and sanitation], 2020, vol. 99 (4), pp. 337-343. <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-4-337-343>
  13. Saltykova M. M., Bobrovnikskiy I. P., Balakaeva A. V. Vliyanie zagryazneniya atmosfernogo vozdukh na zdorov'e naseleniya arkticheskogo regiona: obzor literatury [Influence of atmospheric air pollution on the health of the population of the Arctic region: a review of the literature]. *Ekologiya cheloveka* [Human ecology], 2020, no. 4, pp. 48-55. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-4-48-55>
  14. Saltykova M. M., Bobrovnikskiy I. P., Yakovlev M. Yu., Banchenko A. D. Vliyanie pogody na patsientov s boleznymi sistemy krovoobrashcheniya: glavnye napravleniya issledovaniy i osnovnye problemy [Effect of weather on patients with diseases of the circulatory system: main directions of research and main problems]. *Ekologiya cheloveka* [Human ecology], 2018, no. 6, pp. 43-51.
  15. Sergeychik O. I., Yaroslavskaya E. I., Plyusnin A. V. Vliyanie faktorov vneshney sredy na risk serdechno-sosudistykh zabolevaniy naseleniya Arktiki [Influence of environmental factors on the risk of cardiovascular diseases in the population of the Arctic]. *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy* [Journal of Biomedical Research], 2022, vol. 10(1), pp. 64-72. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z091>
  16. Khasnulin V. I. Psikhoemotsional'nyy stress i meteoreaktsiya kak sistemnye proyavleniya dizadaptatsii cheloveka v usloviyakh izmeneniya klimata na Severe Rossii [Psycho-emotional stress and meteororeaction as systemic manifestations of human disadaptation under climate change in the North of Russia]. *Ekologiya cheloveka* [Human ecology], 2012, no. 8, pp. 3-7.
  17. Khasnulin V. I., Gafarov V. V., Voevoda M. I. i dr. Vliyanie meteorologicheskikh faktorov v razlichnye sezony goda na chastotu vzniknoveniya oslozhneniy gipertonicheskoy bolezni u zhiteley g. Novosibirsk [Influence of meteorological factors in different seasons of the year on the incidence of complications of hypertension in residents of Novosibirsk]. *Ekologiya cheloveka* [Human ecology], 2015, no. 7, pp. 3-8.

18. Yaskevich R. A., Moskalenko O. L. Analiz chastoty i struktury zabolevaniy serdechno-sosudistoy sistemy u migrantov Kraynego Severa v period readaptatsii k novym klimaticheskim usloviyam [Analysis of the frequency and structure of diseases of the cardiovascular system in migrants of the Far North during readaptation to new climatic conditions]. *V mire nauchnykh otkrytiy* [In the world of scientific discoveries], 2017, vol. 9(4-2), pp. 41-58. <https://doi.org/10.12731/wsd-2017-4-2-41-58>
19. Yaskevich R. A., Moskalenko O. L. Osobennosti variantov remodelirovaniya levogo zheludochka u muzhchin migrantov Kraynego Severa s arterial'noy gipertoniey, razlichnykh konstitutsional'nykh tipov [Features of variants of left ventricular remodeling in male migrants of the Far North with arterial hypertension of various constitutional types]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2020, vol. 12(5), pp. 150-164. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2020-12-5-150-164>
20. Yaskevich R. A., Moskalenko O. L. Osobennosti pokazateley sutochnogo monitorirovaniya arterial'nogo davleniya u lits pozhilogo vozrasta s arterial'noy gipertoniey, ranee prozhivavshikh v usloviyakh Zapolyar'ya [Features of indicators of daily monitoring of blood pressure in elderly people with arterial hypertension who previously lived in the conditions of the Arctic]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13(3), pp. 11-28. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-3-11-28>
21. Agarwal A., Chander Y., Nagendra A. Serological Evidence of Chronic Chlamydia pneumoniae Infection in Coronary Artery Disease. *Med. J. Armed Forces India*, 2007, vol. 63(3), pp. 229-232. [https://doi.org/10.1016/S0377-1237\(07\)80141-9](https://doi.org/10.1016/S0377-1237(07)80141-9)
22. Bakal J. A., Ezekowitz J. A., Westerhout C. M. et al. Association of global weather changes with acute coronary syndromes: gaining insights from clinical trials data. *Int. J. Biometeorol.*, 2013, vol. 57(3), pp. 401-408. <https://doi.org/10.1007/s00484-012-0565-3>
23. Banday A. A., Lau Y. S., Lokhandwala M. F. Oxidative stress causes renal dopamine D1 receptor dysfunction and salt-sensitive hypertension in Sprague-Dawley rats. *Hypertension*, 2008, vol. 51(2), pp. 367-375. <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.107.102111>
24. Breitner S., Wolf K., Peters A., Schneider A. Short-term effects of air temperature on cause-specific cardiovascular mortality in Bavaria, Germany. *Heart.*, 2014, vol. 100(16), pp. 1272-1280. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2014-305578>
25. Brown H. K., Simpson A. J., Murchison J. T. The influence of meteorological variables on the development of deep venous thrombosis. *Thromb. Haemost.*, 2009, vol. 102(4), pp. 676-682. <https://doi.org/10.1160/TH09-04-0214>

26. Canseco-Avila L. M., Jerjes-Sánchez C., Ortiz-López R. et al. Fibrinogen. Cardiovascular risk factor or marker? *Arch. Cardiol. Mex.*, 2006, vol. 76 (Suppl 4), pp. 158-172.
27. Chau P. H., Wong M., Woo J. Ischemic heart disease hospitalization among older people in a subtropical city-Hong Kong: does winter have a greater impact than summer? *Int. J. Environ. Res. Public. Health*, 2014, vol. 11(4), pp. 3845-3858. <https://doi.org/10.3390/ijerph110403845>
28. Chen X., Cao Q., Liu C., Xu C. Research on meteorological conditions and their related diseases in Hefei, China. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 2008, vol. 1140, pp. 86-90. <https://doi.org/10.1196/annals.1454.039>
29. Chen Z. R., Ji W., Wang Y. Q. et al. Etiology of acute bronchiolitis and the relationship with meteorological conditions in hospitalized infants in China. *J. Formos. Med. Assoc.*, 2014, vol. 113(7), pp. 463-469. <https://doi.org/10.1016/j.jfma.2012.12.013>
30. Chung F. P., Li H. R., Chong E. et al. Seasonal variation in the frequency of sudden cardiac death and ventricular tachyarrhythmia in patients with arrhythmogenic right ventricular dysplasia/cardiomyopathy: the effect of meteorological factors. *Heart Rhythm.*, 2013, vol. 10(12), pp. 1859-1866. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2013.09.069>
31. Crawford V. L., McNerlan S. E., Stout R. W. Seasonal changes in platelets, fibrinogen and factor VII in elderly people. *Age Ageing*, 2003, vol. 32(6), pp. 661-665. <https://doi.org/10.1093/ageing/afg113>
32. Donaldson K., Stone V., Seaton A., MacNee W. Ambient particle inhalation and the cardiovascular system: potential mechanisms. *Environ. Health Perspect.*, 2001, vol. 109 (Suppl 4), pp. 523-527. <https://doi.org/10.1289/ehp.01109s4523>
33. Ezekowitz J. A., Bakal J. A., Westerhout C. M. et al. The relationship between meteorological conditions and index acute coronary events in a global clinical trial. *Int. J. Cardiol.*, 2013, vol. 168(3), pp. 2315-2321. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2013.01.061>
34. Gerardi D. A., Kellerman R. A. Climate change and respiratory health. *J. Occup. Environ. Med.*, 2014, vol. 56 (Suppl 10), pp. 49-54. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000000292>
35. Gluszak A., Kocoń S., Zuk K. et al. Episodes of atrial fibrillation and meteorological conditions. *Kardiol. Pol.*, 2008, vol. 66(9), pp. 958-963.
36. Gouni-Berthold I., Krone W., Berthold H.K. Vitamin D and cardiovascular disease. *Curr. Vasc. Pharmacol.*, 2009, vol. 7(3), pp. 414-422. <https://doi.org/10.2174/157016109788340686>
37. He K., Yang F., Ma Y. et al. The characteristics of PM2.5 in Beijing, China. *Atmos. Environ.*, 2001, vol. 38, pp. 4959-4970.
38. Ieven M. M., Hoymans V. Y. Involvement of Chlamydia pneumoniae in atherosclerosis: more evidence for lack of evidence. *J. Clin. Microbiol.*, 2005, vol. 43(1), pp. 19-24. <https://doi.org/10.1128/JCM.43.1.19-24.2005>

39. Ishikawa K., Niwa M., Tanaka T. Difference of intensity and disparity in impact of climate on several vascular diseases. *Heart Vessels*, 2012, vol. 27(1), pp. 1-9. <https://doi.org/10.1007/s00380-011-0206-5>
40. Kruse H. J., Wieczorek I., Hecker H. et al. Seasonal variation of endothelin-1, angiotensin II, and plasma catecholamines and their relation to outside temperature. *J Lab. Clin. Med.*, 2002, vol. 140(4), pp. 236-241. <https://doi.org/10.1067/mlc.2002.127169>
41. Latha K. M., Badarinath K. V. Seasonal variations of PM10 and PM2.5 particles loading over tropical urban environment. *Int. J. Environ. Health. Res.*, 2005, vol. 15(1), pp. 63-68. <https://doi.org/10.1080/09603120400018964>
42. Luo B., Zhang S., Ma S. et al. Effects of different cold-air exposure intensities on the risk of cardiovascular disease in healthy and hypertensive rats. *Int. J. Biometeorol.*, 2014, vol. 58(2), pp. 185-194. <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0641-3>
43. Meral M., Mirici A., Aslan S. et al. Barometric pressure and the incidence of pulmonary embolism. *Chest.*, 2005, vol. 128(4), pp. 2190-2194. <https://doi.org/10.1378/chest.128.4.2190>
44. Monno R., Fumarola L., Trerotoli P. et al. Seroprevalence of Chlamydomphila pneumoniae in ischaemic heart disease. *New Microbiol.*, 2010, vol. 33(4), pp. 381-385.
45. Nemerovski C. W., Dorsch M. P., Simpson R. U. et al. Vitamin D and cardiovascular disease. *Pharmacotherapy*, 2009, vol. 29(6), pp. 691-708. <https://doi.org/10.1592/phco.29.6.691>
46. Pääkkönen T., Leppäluoto J. Cold exposure and hormonal secretion: a review. *Int. J. Circumpolar. Health*, 2002, vol. 61(3), pp. 265-276. <https://doi.org/10.3402/ijch.v61i3.17474>
47. Pekkanen J., Peters A., Hoek G. et al. Particulate air pollution and risk of ST-segment depression during repeated submaximal exercise tests among subjects with coronary heart disease: the Exposure and Risk Assessment for Fine and Ultrafine Particles in Ambient Air (ULTRA) study. *Circulation*, 2002, vol. 106(8), pp. 933-938. <https://doi.org/10.1161/01.cir.0000027561.41736.3c>
48. Pescatello L. S., Franklin B. A., Fagard R. et al. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and hypertension. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 2004, vol. 36(3), pp. 533-553. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000115224.88514.3a>
49. Peters A., Dockery D. W., Muller J. E., Mittleman M. A. Increased particulate air pollution and the triggering of myocardial infarction. *Circulation*, 2001, vol. 103(23), pp. 2810-2815. <https://doi.org/10.1161/01.cir.103.23.2810>
50. Peters A., Liu E., Verrier R.L. et al. Air pollution and incidence of cardiac arrhythmia. *Epidemiology*, 2000, vol. 11(1), pp. 11-17. <https://doi.org/10.1097/00001648-200001000-00005>

51. Petrucci G., Rizzi A., Hatem D. et al. Role of Oxidative Stress in the Pathogenesis of Atherothrombotic Diseases. *Antioxidants (Basel)*, 2022, vol. 11(7), 1408. <https://doi.org/10.3390/antiox11071408>
52. Pinnamaneni K., Sievers R. E., Sharma R. et al. Brief exposure to secondhand smoke reversibly impairs endothelial vasodilatory function. *Nicotine Tob. Res.*, 2014, vol. 16(5), pp. 584-590. <https://doi.org/10.1093/ntr/ntt189>
53. Radke K. J., Izzo J. L. Jr. Seasonal variation in haemodynamics and blood pressure-regulating hormones. *J. Hum. Hypertens.*, 2010, vol. 24(6), pp. 410-416. <https://doi.org/10.1038/jhh.2009.75>
54. Raja N. B., Aydin O., Türkoğlu, N. et al. Characterising the Seasonal Variations and Spatial Distribution of Ambient PM10 in Urban Ankara, Turkey. *Environ. Process.*, 2018, vol. 5, pp. 349-362. <https://doi.org/10.1007/s40710-018-0305-8>
55. Rassa M., Lauro F. M., Cazzavillan S. et al. Detection of Chlamydomydia pneumoniae DNA in peripheral blood mononuclear cells of blood donors in the north-east of Italy. *Med. Microbiol. Immunol.*, 2001, vol. 190(3), pp. 139-144. <https://doi.org/10.1007/s004300100092>
56. Rossato S. L., Olinto M. T., Henn R. L. et al. Seasonal effect on nutrient intake in adults living in Southern Brazil. *Cad. Saude Publica.*, 2010, vol. 26(11), pp. 2177-2187. <https://doi.org/10.1590/s0102-311x2010001100019>
57. Samawi H. M. Daily walking and life expectancy of elderly people in the iowa 65+ rural health study. *Front Public Health*, 2013, vol. 1, 11. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2013.00011>
58. Shahar D. R., Froom P., Harari G. et al. Changes in dietary intake account for seasonal changes in cardiovascular disease risk factors. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 1999, vol. 53(5), pp. 395-400. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1600761>
59. Sherman D. L. Exercise and endothelial function. *Coron. Artery Dis.*, 2000, vol. 11, pp. 117-122.
60. Smieja M., Leigh R., Petrich A. et al. Smoking, season, and detection of Chlamydia pneumoniae DNA in clinically stable COPD patients. *BMC Infect. Dis.*, 2002, vol. 2, 12. <https://doi.org/10.1186/1471-2334-2-12>
61. Stigell E., Schantz P. Active Commuting Behaviors in a Nordic Metropolitan Setting in Relation to Modality, Gender, and Health Recommendations. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2015 vol. 12(12), pp. 15626-15648. <https://doi.org/10.3390/ijerph121215008>
62. Tsiulnikov S., Maslov L., Voronkov N., Oeltgen P. Thyroid hormones and the mechanisms of adaptation to cold. *Hormones (Athens)*, 2020, vol. 19(3), pp. 329-339. <https://doi.org/10.1007/s42000-020-00200-2>

63. Warren-Gash C., Smeeth L., Hayward A.C. Influenza as a trigger for acute myocardial infarction or death from cardiovascular disease: a systematic review. *Lancet. Infect. Dis.*, 2009, vol. 9(10), pp. 601-610. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(09\)70233-6](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(09)70233-6)
64. Wilker E. H., Yeh G., Wellenius G. A. et al. Ambient temperature and biomarkers of heart failure: a repeated measures analysis. *Environ. Health. Perspect.*, 2012, vol. 120(8), pp. 1083-1087. <https://doi.org/10.1289/ehp.1104380>
65. Wittert G. A., Or H. K., Livesey J. H. et al. Vasopressin, corticotrophin-releasing factor, and pituitary adrenal responses to acute cold stress in normal humans. *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 1992, vol. 75(3), pp. 750-755. <https://doi.org/10.1210/jcem.75.3.1517364>
66. Woo K. S., Chook P., Leong H. C. et al. The impact of heavy passive smoking on arterial endothelial function in modernized Chinese. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 2000, vol. 36(4), pp. 1228-1232. [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(00\)00860-3](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(00)00860-3)
67. Yaskevich R. A., Moskalenko O. L. Analysis of the incidence and structure of the cardiovascular system diseases in the Far North migrants over the period of readaptation to the new climatic conditions. *V mire nauchnykh otkrytiy*, 2017, vol. 9(4-2), pp. 59-73. <https://doi.org/10.12731/wsd-2017-4-2-59-73>
68. Yaskevich R. A., Moskalenko O. L. Anthropometric characteristics and component composition of body weight in male migrants of the far north with arterial hypertension. *V mire nauchnykh otkrytiy*, 2017, vol. 9, no. 4, pp. 47-63.
69. Zhang X., Zhang S., Wang C. et al. Effects of moderate strength cold air exposure on blood pressure and biochemical indicators among cardiovascular and cerebrovascular patients. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2014, vol. 11(3), pp. 2472-2487. <https://doi.org/10.3390/ijerph110302472>
70. Zhu Z., Zhu S., Zhu J. et al. Endothelial dysfunction in cold-induced hypertensive rats. *Am. J. Hypertens.*, 2002, vol. 15(2 Pt 1), pp. 176-180. [https://doi.org/10.1016/s0895-7061\(01\)02268-3](https://doi.org/10.1016/s0895-7061(01)02268-3)
71. Zittermann A., Schleithoff S., Koerfer R. Putting cardiovascular disease and vitamin D insufficiency into perspective. *British Journal of Nutrition*, 2005, vol. 94(4), pp. 483-492. <https://doi.org/10.1079/BJN20051544>

#### ДАнные ОБ АВТОРАХ

**Хамнагадаев Игорь Иосифович**, профессор кафедры госпитальной терапии, доктор медицинских наук  
*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»*  
ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Российская Федерация  
[khamnaga@yandex.ru](mailto:khamnaga@yandex.ru)

**Яскевич Роман Анатольевич**, ведущий научный сотрудник группы патологии сердечно-сосудистой системы, доцент кафедры пропедевтики внутренних болезней и терапии с курсом ПО, 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**

**Igor I. Khamnagadaev**, Professor of the Department of Hospital Therapy, Doctor of Medical Science

*Federal state autonomous educational institution of higher education “Belgorod State National Research University”*

*85, Pobedy Str., Belgorod, 308015, Russian Federation*

*khamnaga@yandex.ru*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8541-0364>*

**Roman A. Yaskevich**, Leading Researcher of the Group Pathology of the Cardiovascular System, Associate Professor at Department of Propedeutics of Internal Diseases and Therapy with a Postgraduate Education Course, 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@impn.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 24.11.2022

После рецензирования 19.12.2022

Принята 28.12.2022

Received 24.11.2022

Revised 19.12.2022

Accepted 28.12.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-279-294

УДК 619:616–089.8:6367



Обзорная статья

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЧРЕСКОСТНОГО ОСТЕОСИНТЕЗА У МЕЛКИХ ДОМАШНИХ ЖИВОТНЫХ В СОВРЕМЕННОЙ ВЕТЕРИНАРНОЙ ПРАКТИКЕ

*И.Г. Киселев, М.И. Родин*

*Статья посвящена общему обзору различных систем для наружного остеосинтеза, применяемых в современной ветеринарной медицине.*

*Целью исследования* явилось обобщение и анализ статей, посвящённых использованию различных систем для наружного остеосинтеза, применяемых в современной ветеринарной медицине.

*Проведен анализ технической базы основных узлов исследуемых систем для наружного (чрескостного) остеосинтеза. Проведена оценка возможности сборки аппаратных конструкций из деталей исследуемых систем с точки зрения аппаратных конфигураций.*

**В результате исследования** установлено:

- Для обеспечения функционального многообразия аппаратных комбинаций, системы исследуемые в работе, используют радиусные компоненты (кольца и их производные), которые берут свое начало от колец, представленных в системе Илизарова.

- Наличие специальных зажимных устройств в системах, расширяет клинический диапазон применения аппаратных конструкций для чрескостного остеосинтеза.

- Использование поворотных механизмов в виде кронштейнов (карданов, шарниров) расширяет технологические возможности применения аппаратов наружной фиксации при необходимости пространственного управления аппаратными конструкциями как при операциях, так и в послеоперационном периоде.

**Ключевые слова:** системы для наружного остеосинтеза; компоновки аппаратных конструкций; кольца; зажимные устройства; кронштейны; аппаратные конфигурации

*Для цитирования.* Киселев И.Г., Родин М.И. Сравнительная характеристика различных систем для обеспечения чрескостного остеосинтеза у мелких домашних животных в современной ветеринарной практике // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №3. С. 279-294. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-279-294

Scientific review

## COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF DIFFERENT SYSTEMS FOR PROVIDING TRANSOSSEOUS OSTEOSYNTHESIS IN SMALL PETS IN MODERN VETERINARY PRACTICE

*I.G. Kiselev, M.I. Rodin*

*The article is devoted to a general review of various systems for external osteosynthesis used in modern veterinary medicine.*

*The aim of the study was to summarize and analyze articles on the use of various systems for external osteosynthesis used in modern veterinary medicine.*

*The analysis of the technical base of the main components of the systems under study for external (transosseous) osteosynthesis was carried out. An assessment was made of the possibility of assembling hardware structures from the parts of the systems under study from the point of view of hardware configurations.*

### **The study found:**

*- To ensure the functional diversity of hardware combinations, the systems studied in the work use radius components (rings and their derivatives), which originate from the rings represented in the Ilizarov system.*

*- The presence of special clamping devices in the systems expands the clinical range of application of hardware structures for transosseous osteosynthesis.*

*- The use of rotary mechanisms in the form of brackets (cardans, hinges) expands the technological possibilities of using external fixation devices, if spatial control of hardware structures is necessary, both during operations and in the postoperative period.*

**Keywords:** *systems for external osteosynthesis; layout of hardware structures; rings; clamping devices; brackets; hardware configurations*

**For citation.** *Kiselev I.G., Rodin M.I. Comparative Characteristics of Different Systems for Providing Transosseous Osteosynthesis in Small Pets in Modern Veterinary Practice. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 279-294. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-279-294*

## **Введение**

Технология чрескостного остеосинтеза базируется на возможности обеспечивать фиксацию отломков костей скелета, образованных спонтанно (вследствие перелома), либо прогнозируемо (вследствие остеотомии) при помощи стержней или спиц, закрепленных в разнообразных внешних устройствах. Мировой опыт ветеринарной медицины в области чрескостного остеосинтеза напрямую связан с разработками конструкций аппаратов наружной фиксации изначально предложенных для осуществления оперативных вмешательств в медицине.

## **Цель работы**

Обобщение и анализ статей, посвящённых использованию различных систем для наружного остеосинтеза, применяемых в современной ветеринарной медицине.

## **Материалы и методы исследования**

Аппарат Илизарова, разработанный в середине двадцатого века для лечения опорно-двигательного аппарата у человека, начиная с конца 80-х годов прошлого столетия стал применяться в области ветеринарии для лечения собак, кошек и более крупных животных, включая лошадей и КРС. Положительные клинические результаты применения аппаратов системы Илизарова у животных способствовали появлению ряда выдающихся научных трудов в области ветеринарного чрескостного остеосинтеза. Была раскрыта биомеханическая суть чрескостного остеосинтеза у мелких домашних животных. Определены фундаментальные механизмы distractionно-компрессионного остеосинтеза, разработаны методы лечения деформаций конечностей и ложных суставов при помощи аппаратов наружной фиксации. Так в диссертационных трудах [2, 19, 34] даются описания формирования аппаратных компоновок по Илизарову, предназначенные для осуществления наружного остеосинтеза периферического скелета у собак. Изучены методы и уровни введения чрескостных элементов на различных сегментах грудных и тазовых конечностей. На основе системы Илизарова были разработаны методы оперативного лечения переломов таза [36, 38]. В ряде научных трудов рассмотрены вопросы репаративного остеогенеза у собак, как ключевое событие при лечении различных переломов с применением наружной фиксации [7, 35, 37]. Основным критерий, который предъявляется к аппаратам наружной фиксации в период послеоперационной эксплуатации – это максимальная жесткость, образованная в системе аппарат-кость, с целью удержания отломков костей в заданном положении с минимальным или от-

сутствующим люфтом на весь период предполагаемого заживления кости с учетом массы пациентов, их размеров и возрастных особенностей. Наиболее детально понятие жесткости аппаратов наружной фиксации раскрыто на страницах диссертационного труда [8, 9, 20]. Жесткость непосредственно связана с аппаратной комбинацией. Так монолатеральные аппаратные конструкции создают эластичную фиксацию фрагментов. Более жесткими являются двусторонние или рамочные опоры [5, 21, 24, 28].

Возможность выбора комплектующих для конструирования аппаратов наружной фиксации обеспечивается за счет системного подхода. Когда из имеющегося стандартного комплекта деталей проводится сборка необходимой компоновки с известными оптимальными жесткостными характеристиками. В ряде ортопедических случаев возникает необходимость применения аппаратов наружной фиксации, обеспечивающих перемещение отломков в аппаратной конструкции, сохраняя жесткость. Клиническая целесообразность оперативного и послеоперационного перемещения в пространстве (управление отломками) аппаратов, которая не свойственна погружным фиксаторам, а также аппаратам с гладкой опорой без приводных механизмов, адресуется аппаратам, у которых имеется возможность перемещения составляющих их частей, как правило, по резьбовой тяге линейно, либо имеется возможность многоосевого перемещения с использованием гексаподных конструкций [13, 23, 27]. Исключение составляет особый вид погружных фиксаторов (интрамедуллярные стержни) с храповым механизмом.

Конструктивные особенности характеризуются тем, что в современной ветеринарной практике, в большинстве своем, используются не отдельные аппаратные конструкции, как таковые, разработанные тем или иным автором, а целые системы, которые состоят из множества различных компонентов и включают в себя технические элементы, предложенные рядом авторов в разные периоды времени. Что дает возможность обеспечить максимально рациональное применение той или иной системы, при различных травма-ортопедических патологиях. Сама же аппаратная конструкция, примененная для различных оперативных нужд, компоуется согласно внутренней концепции, присущей данной системе. В отдельных случаях систему определяет ряд однотипных аппаратных конструкций, предназначенных для конкретного сегмента конечности каждая, и имеющая свои особенности. Например, группа монолатеральных аппаратов наружной фиксации фирмы Orthofix, применяемых в гуманитарной медицине, построены по одному принципу удержания чрескостных элементов в аппаратных конструкциях. Данные устройства выполнены из одних и тех же материалов, имеют шарнирные и дистракционные узлы, при этом

есть аппарат для голени, бедра, плеча и предплечья. В клинической ветеринарии такие варианты аппаратов применяются единично.

### Результаты исследования и их обсуждение

#### 1. Структура исследуемых систем для чрескостного остеосинтеза.

За образец понимания функционирования системы для чрескостного остеосинтеза в нашем исследовании принята система Илизарова, которая предусматривает применение всевозможных конструкций (аппаратов), смонтированных из комплектующих деталей, с максимальным клиническим приложением. Система Илизарова используется при лечении осевого скелета – череп (включая нижнюю челюсть), позвоночник, таз; периферического скелета – весь пояс верхних и нижних конечностей, включая область стопы и пясти, что делает данную систему максимально универсальной.

Как видно из таблицы 1, первичными системообразующими компонентами по Илизарову являются кольца (Рис. 2а) с круглыми отверстиями, расположенными по периферии. Кольца и производные (полукольца, 2/3 кольца и пр.) представлены различными типоразмерами. Также в системообразующие компоненты входят резьбовые стержни, фиксирующие спицы элементы, и крепеж.

Таблица 1.

Структура исследуемых систем для чрескостного остеосинтеза

Системы	Первичные системообразующие компоненты	Дополнительные компоненты
Г.А. Илизарова	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Дуги(кольца) с круглыми отверстиями по периферии различных типоразмеров резьбовые стержни</li> <li>• спицефиксаторы</li> <li>• гайки.</li> </ul>	Планки, кронштейны, балки, карданы, расширенная линейка спице- и стержнефиксаторов, телескопические опоры.
AIMAX	Зажимные устройства и гладкие опоры в трех типоразмерах	Полноценные копии дуг (колец), кронштейнов, встречаемых в системе Илизарова
Киршнера	Зажимные устройства и гладкие опоры в трех типоразмерах	Нет
SECURUS	Зажимные устройства и гладкие опоры в трех типоразмерах	Полноценные копии дуг (колец), встречаемых в системе Илизарова
Ad Maiora	Зажимные устройства и гладкие опоры в трех типоразмерах	Оригинальные дугокольцевые компоненты с характерным пазированным радиусом
VO-SYS-OP-TIMA	Зажимное устройство (полифункциональный моноблок) в одном универсальном типоразмере. Гладкие опоры разных типоразмеров.	Оригинальные дугокольцевые компоненты со способностью фиксировать резьбовые и безрезьбовые стержни.

Дополнительными же компонентами мы выделяем планки, кронштейны, балки, оригинальные спице- и стержне-фиксаторы, телескопические опоры, варианты которых дополнялись в систему в процессе многолетней клинической апробации той или иной аппаратной конструкции. Так, согласно ТУ-64-1 2951-72 г. на комплект компрессионно-дистракционных аппаратов Г.А. Илизарова, в него не входят кронштейны, а спицедержатели представлены только разборными (рамочные). Комплектация системы по Илизарову более поздних лет включает в себя всевозможные кронштейны, болты спице- и стержнедержатели, различные приставки, карданные устройства и т.д. [3, 22, 31, 32]. Наличие дополнительных компонентов в системе способствует максимально возможной клинической применимости аппаратов, смонтированных из имеющихся деталей. При этом специальных зажимных устройств, работающих самостоятельно, в монолатеральных и билатеральных аппаратных комбинациях в системе Илизарова не предусмотрено.

В предлагаемых в мировой ветеринарной практике системах для чрескостного остеосинтеза, в качестве дополнительных компонентов используют кольца и их производные.

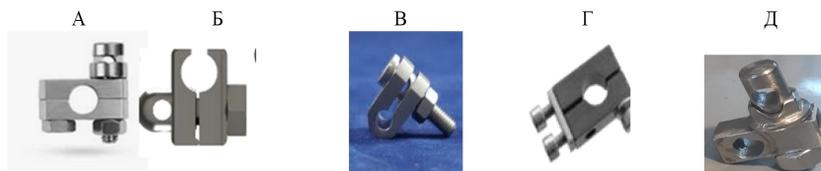
Ввиду того, что изначально в исследуемых системах имелась техническая возможность построения только монолатеральных и билатеральных аппаратных комбинаций – циркулярные компоненты не предусматривались. Циркулярные компоненты (кольца), применяемые в представленных в анализе системах, могут быть оригинальными, являясь дальнейшим развитием идеи использования кольцевых опор по Илизарову, либо в системах применяются, по нашему мнению, точные копии колец Илизарова.

Так, в системе для чрескостного остеосинтеза, предложенной фирмой IMEX (США), основным узлом, фиксирующим чрескостные стержни и, одномоментно, опоры, является зажимное устройство, разработанное доктором Россом [4,33]. (Рис. 2Б). На базе данного устройства построена вся первоначальная концепция сборки монолатеральных и билатеральных аппаратных конструкций системы IMEX, при этом дополнительными компонентами максимально расширяющими технологические возможности аппаратов данной системы являются кольца (Рис. 1Б) и их производные. Отличием колец IMEX от колец по Илизарову является только то, что кольца IMEX и их производные выполнены из алюминиевого сплава.

Аналогичную картину комплектации системы для чрескостного остеосинтеза мы наблюдаем при рассмотрении системы SECUROS (США), где основными элементами, фиксирующими чрескостные стержни, являются

устройства, прототипами которых, по нашему мнению, являются зажимные устройства, берущие начало от [10, 14, 15, 29]. (Рис. 2В), но при этом как дополнительные компоненты в системе представлены кольца и их производные, которые, по нашему мнению, также являются точной копией колец Илизарова, только выполненные из углепластика и алюминия. Система, представленная компанией Ad Maiora (Италия), по нашему мнению, берет свое начало от аппаратной конструкции доктора Кастамана [18, 30], где основной компонент системы представлен двумя планками для крепления чрескостных элементов посредством стержнедержателей, выполненных из алюминиевых сплавов и соединенных оригинальным шарниром. Система впоследствии дополнена оригинальным зажимным устройством (Рис. 1Г). Для расширения функций данной системы в ветеринарии в дальнейшем были предложены оригинальные циркулярные компоненты в виде колец с характерными прорезами (Рис. 2Г), данные кольца производятся из алюминия и углепластика.

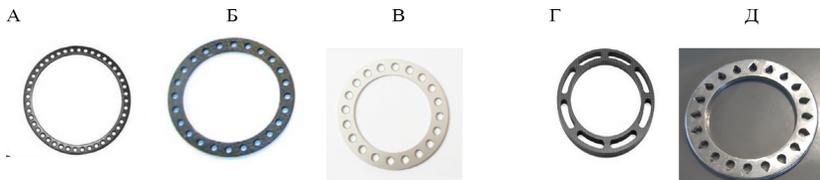
Применяемая в ветеринарной медицине система Киршнера [6, 17] за длительный период эксплуатации не претерпела значительных инженерных преобразований крепежного узла (Рис. 1В) и используется в настоящее время под названием система Киршнера-Эхмера. Оригинальные зажимные устройства Киршнера применяются в молатеральных и билатеральных комбинациях. В разработанной нами системе VOSYS-OPTIMA (Оптимизированная Ветеринарная Система), предложенной для чрескостного остеосинтеза у собак и кошек различного размера и массы тела, системообразующим компонентом являются полифункциональные моноблоки в одном универсальном типоразмере с круглыми и каплевидными отверстиями и отдельно оснащенные резьбовым штоком [16]. Дополнительными же компонентами системы являются оригинальные кольца (Рис. 2Д) и их производные [39], которые, в отличие от колец системы Илизарова, имеют каплевидную или П-образную форму отверстий, расположенных по периферии.



**Рис. 1.** Зажимные устройства различных систем

А – зажимное устройство системы IMEX; Б – зажимное устройство системы SECUROS; В – зажимное устройство Kirchner; Г – зажимное устройство Ad Maiora; Д – зажимное устройство VOSYS-OPTIMA.

Являясь основой для построения «идеальной» рамы, кольца, применяемые в аппаратах наружной фиксации, определяют тип используемых при монтаже вертикальных опор (соединительных стержней). В системе Илизарова используются, в подавляющем большинстве случаев, цельно-резьбовые стержни различной длины и диаметра, выполненные из нержавеющей стали.



**Рис. 2.** Кольца, используемые в различных системах

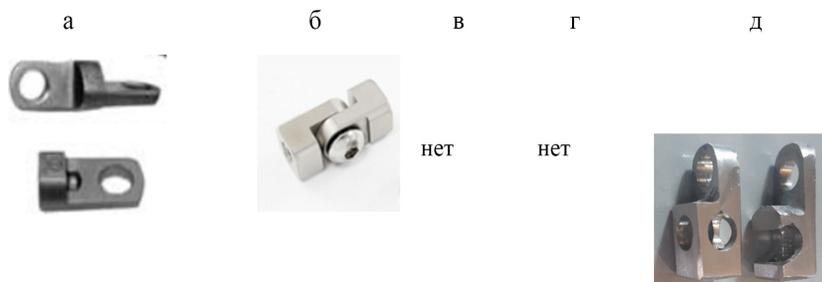
А – кольцо (производные), используемое в системе Илизарова; Б – кольцо (производные), используемое в системе SECUROS; В – кольцо (производные), используемое в системе IMEX; Г – кольцо (производные), используемое в системе Ad Maiora; Д – кольцо (производные), используемое в системе VOSYS-OPTIMA.

Так М.А. Степанов (2007) [12], в своей диссертационной работе указывает, что в качестве соединителей опор для двух производных колец при формировании базовой компоновки применял резьбовые стержни диаметром 5 и 6 мм длиной 60-150 мм в зависимости от размера кости. Такой же тип построения конструкций с использованием цельнорезьбовых стержней указывается в научных трудах, связанных с применением наружной фиксации по Илизарову.

Соответственно, представленные в данной работе системы построения аппаратных конструкций с использованием варианта кольца с круглыми отверстиями, напрямую подчиняются технологии построения компоновок по Илизарову. Имея при этом дистракционно-компрессионную функцию линейного перемещения отломков в аппаратных конструкциях. Как правило, подобный тип рамных конструкций требует полной ее сборки перед операцией. При этом в системе VOSYS-OPTIMA дизайн кольца позволяет кроме резьбовых стержней, используемых в системе Илизарова, использовать гладкие стержни различного диаметра, не превышающих диаметр каплевидных или П-образных отверстий с применением специфических крепежных скоб. Данная конструкция кольца позволяет несколько изменить принцип наложения циркулярной аппаратной компоновки, когда на проксимальный и дистальный отломок накладываются кольцевые опоры отдельно, а затем, после репозиции костных отломков, кольцевые опоры

соединяются безрезьбовыми стержнями, которые могут быть выполнены из углепластика, титана, алюминия, либо стали.

Несомненным преимуществом при использовании циркулярных и полуциркулярных компоновок является использование кронштейнов одноосевого и двухосевого перемещения (кронштейн двусторонний по Илизарову). Как правило, данные детали применяются при коррекции угловых деформаций [25], а также способствуют угловому расположению аппаратных конструкций между двумя сегментами (проксимальным и дистальным) при стабилизации суставов.



**Рис. 3.** Кронштейны одноосевого и двухосевого перемещения

а – кронштейны, используемые в системе Илизарова; б – кронштейны, используемые в системе IMEX; д – кронштейны, используемые в системе VOSYS-OPTIMA.

На рис. 3 представлены узлы перемещения (кронштейны) в аппаратных конструкциях, применяемые только в системах Илизарова, AIMAX и VOSYS-OPTIMA. В остальных системах кронштейны не используются, что исключает возможность изменения угла аппаратных конструкций для осуществления коррекции деформации, либо осуществить возможность стабилизации смежных суставов, используя циркулярные и полуциркулярные комбинации. Кронштейны, применяемые в системах Илизарова (Рис. 3а) и AIMAX (Рис. 3б) представляют собой устройства в виде призмы с выбранным пазом, и имеющие торцевое резьбовое отверстие для крепления кронштейна к резьбовому стержню, либо плоскости кольцевой опоры. Отличие состоит в том, что в ответном кронштейне системы AIMAX имеется боковое резьбовое отверстие. Кронштейны системы Илизарова соединяются проходным болтом с гайкой. Кронштейны системы VOSYS-OPTIMA имеют более расширенный функционал, т.к. кроме осуществления поворотной одноосевой функции с креплением резьбовых стержней в торец имеется возможность фиксировать безрезьбовые стержни в поло-

жении сдвоенного зажима, а также имеется возможность установки кронштейна на безрезьбовой опоре с использованием резьбового штока для фиксации чрескостных элементов. Кронштейны предусмотрены двух типов: закрытые и открытые (Рис. 2д).

## *2. Формирование аппаратных конфигураций исследуемых аппаратных систем*

Несомненным плюсом некоторых аппаратных систем, рассматриваемых в данной работе, является возможность осуществления построения аппаратных компоновок различного пространственного положения согласно имеющимся классификациям. Несмотря на то, что в мире предложено большое количество вариантов классификации аппаратов внешней фиксации [1, 11] мы придерживаемся мнения, что наиболее предметная классификация дана И.В. Зедгенидзе (2015) [26]. В основу данной классификации положена архитектурная оценка аппаратных конфигураций, отражающая биомеханические свойства смонтированных аппаратных конструкций.

Так, исходя из таблицы 2, в системе Илизарова есть возможность построить циркулярную, полуциркулярную и секторную конфигурации аппаратов как линейного, так и многоосевого перемещения за счет дополнительного оборудования: поворотных кронштейнов и карданных устройств. При этом в качестве построения аппаратной рамы могут использоваться кольца, полукольца, дуги. В качестве чрескостных элементов могут применяться как спицы, так и стержни, удерживаемые как на плоскости радиусных элементов, так и на кронштейнах с различным количеством отверстий.

Использование вариантов молатеральных и билатеральных конфигураций из деталей системы Илизарова встречаются в клинической практике домашних животных достаточно редко, так как специализированных зажимных устройств в системе не предусмотрено, а использование отдельно балок, входящих в комплект, имеющих круглые отверстия с установленными в них спице- и стержнедержателями в качестве аппарата наружной фиксации, на наш взгляд, недостаточно эффективно с клинической точки зрения. Гибридные конфигурации с использованием системы Илизарова безусловно возможны при сочетании кольцевых опор с какими-либо вариантами зажимных устройств.

В системе АІМАХ присутствуют абсолютно идентичные базовые компоненты, соответствующие деталям аппарата Илизарова, и соответственно, построение аппаратных комбинаций осуществляется по тому же принципу, что и в аппарате Илизарова. При этом в системе АІМАХ имеется зажимное устройство, которое позволяет формировать молатеральные и билатераль-

ные конфигурации аппаратов, а при использовании зажимных устройств и радиусных компонентов формировать гибридные конфигурации. Для возможности осуществления остеосинтеза у животных различной массы тела система AIMAX предлагает три типоразмера зажимных устройств.

Таблица 4.

**Возможность формирования аппаратных конфигураций при использовании различных систем**

Тип аппаратной конфигурации	Система Илизарова	Система AIMAX	Система Киршнера	Система SECUROS	Система Ad Maiora	Система VOSYS-OPTIMA
Монолатеральная	+/-	+	+	+	+	+
Билатеральная	+/-	+	+	+	+/-	+
Секторная	+	+	+	+/-	+	+
Полуциркулярная	+	+	-	+/-	+/-	+
Циркулярная	+	+	-	+/-	+/-	+
Гибридная	+/-	+	-	+	+/-	+

«+» - полноценная техническая оснащенность системы для возможности формирования аппаратной конфигурации; «+/-» - неполноценная техническая оснащенность системы для формирования аппаратной конфигурации; «-» - отсутствие технической возможности системы формировать аппаратную конфигурацию.

Аналогичное построение аппаратных конфигураций возможно и при использовании системы SECUROS, но при этом в источниках информации о системе не указано наличие деталей (кронштейны, шарниры, карданы) для перемещения узлов аппаратных конструкций, что дает возможность сделать вывод только о линейном перемещении отломков кости в аппаратах.

В системе Киршнера вся работа аппаратов происходит только с применением зажимных устройств на гладких опорах, поэтому возможности построения аппаратов циркулярной, полуциркулярной, секторной или гибридной конфигурации у системы не имеется.

В системе Ad Maiora представлены только кольца с прорезями, при такой конструкции возможность полноценного натяжения перекрестных спиц по Илизарову весьма затруднительна ввиду тонких стенок кольца, где натяжение спиц скорее всего вызовет деформацию опоры. А отсутствие в комплекте кронштейнов и других шарнирных устройств не позволяет проводить коррекцию деформаций и стабилизацию суставов.

Система VOSYS-OPTIMA имеет детальную базу для воспроизведения всех указанных аппаратных конфигураций в более расширенном диапазоне, ввиду того что модель циркулярной опоры позволяет в жесткой раме крепить не только резьбовые, но и гладкие стержни, выполненные из различных материалов. Одноостный шарнир, образованный спаренными кронштейнами, позволяет использовать в монтированных аппаратах поворотные схемы, при этом кронштейны могут использоваться как со стержнями, имеющими резьбу, так и с гладкими стержнями различного диаметра, не превышающих диаметр крепежного отверстия. Универсальный моноблок, составляющий основу системы, может использоваться как в монорежиме, так и в сочетании с резьбовым штоком для крепления чрескостных элементов.

### **Выводы**

1. Для обеспечения функционального многообразия аппаратных комбинаций, системы исследуемые в работе, используют радиусные компоненты (кольца и их производные), которые берут свое начало от колец, представленных в системе Илизарова.

2. Наличие специальных зажимных устройств в системах, расширяет клинический диапазон применения аппаратных конструкций для чрескостного остеосинтеза.

3. Использование поворотных механизмов в виде кронштейнов (карданов, шарниров) расширяет технологические возможности применения аппаратов наружной фиксации при необходимости пространственного управления аппаратными конструкциями как при операциях, так и в послеоперационном периоде.

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

**Информация о спонсорстве.** Работа не имела спонсорской поддержки, авторы не получали гонорар за исследование.

### **Список литературы / References**

1. Rodin I., Sedov A., Kapustin A., Kremianskiy V., Gorbacheva Y. Prevalence and Etiological Factors Causing the Retention of the Placenta in Cows. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 4, pp. 144-158. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-4-144-158>
2. Antonov N.I. Treatment of dogs and cats with injuries of the pelvis and hip joint by transosseous osteosynthesis. 3rd ed. Kurgan, 2020.

3. Belyaev N.G., Rzhepakovsky I.V., Timchenko L.D., Areshidze D.A., et. al. Effect of training on femur mineral density of rats. *Biochemistry and Cell Biology*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 3549-3552.
4. Chekrysheva V.V., Rodin I.A. Therapies of purulent mastitis in cats. *Transaction Journal of Engineering, Management, and Applied Sciences and Technologies*, 2020, vol. 11, no. 10, pp. 1-7. <https://doi.org/10.14456/ITJEMAST.2020.187>
5. Kontsevaya S. Yu. Analysis of reparative osteogenesis of certain types of bones of the musculoskeletal system in dogs under various conditions of fixation: thesis. Moscow, 2004, 302 p.
6. Fenchenco N.G., Khairullina N.I. Kilmetova I.R., Sabitov M.T., Rodin I.A., Gorlov I.F., Mosolov A.A. Probiotic supplement for feeding Aberdeen – Angus bulls: influence on the growth rate and quality of meat. *International Journal of Pharmaceutical Research (IJPR)*, 2020, vol. 12, no. 3, pp. 950-956. <https://doi.org/10.31838/ijpr/2020.12.03.147>
7. Gurenko S.A., Sinelnikov B.M., Nagdalian A.A., Povetkin S.N., Ziruk I.V., Oboturova N.P., Trushov P.A., Rodin I.A. A Strategy For Macrodefects Coordinates Detection in Oxide Monocrystals. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 2018, no. 9 (4), pp. 1640-1643.
8. Gurenko S.A., Sinelnikov B.M., Nagdalian A.A., Povetkin S.N., Ziruk I.V., Oboturova N.P., Trushov P.A., Rodin I.A. The Charge Components Proportions Influence On The Second Phase Emergence Probability, During Czochralski Process YAG MC Growth. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 2018, no. 9 (4), pp. 1644-1647.
9. Ilizarov G.A., Palienco L.A., Shreiner A.A. Hematopoietic function of the bone marrow and its relationship with the activity of osteogenesis during reparative regeneration under conditions of leg lengthening in dogs. *Ontogenez*, 1984, vol. 15, no. 2, pp. 146-152.
10. Ilyasov Kh.Kh., Demchenkov, E.L. Chernyshkov A.S., Rodin I.A., Pushkin S.V., Povetkin S.N., Selyaninov D.B., Ambartsumov T.G. Features of the Phytopharmacological Preparations in the Metaphylaxis of Urolithiasis. *Pharmacophore*, 2020, vol. 11(5), pp. 66-71.
11. Karl H. Kraus. Patent. №: 6,340,361 US BI External fixator clamp and system., Karl H. Kraus., Jan. 22, 2002.
12. Kirschner O. Patent. Serial № 587, 545 US., Sercical apparatus Otto Kirschner. Vashow, Wash., Jan. 29, 1946.
13. Kiselev I.G., Rodin I.A., Bezin A.N., et al. Clinical Aspects of the Use of Smooth and Full-Threaded Rods of The VOSIS Veterinary Orthopedic Set in Cats. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 2019, vol. 8, no. 8, pp. 3212-3215.

14. Kiselev I.G. Patent № 149175 Russian Federation. IPC6 A61B17/56. Veterinary orthopedic kit VOSIS / Kiselev I. G. (RU); applicant and patentee - No. 2014145976/93; dec. 07/21/2014; prior 02/07/2013; publ. 20.12.2014, Bull. No. 35.
15. Kiselev I.G. Patent № 149174 Russian Federation. IPC6 A61B17/56. Monoblock universal / Kiselev I.G. (RU); applicant and patentee - No. 2014145975/93; dec. 07/21/2014; prior 03/19/2013; publ. 20.12.2014, Bull. No. 35.
16. Kiselev I.G. Patent № 10045822 B2 USA. MPK6 A61B17/60 Veterinary orthopedic kit / Kiselev I.G. (RU); applicant and patent holder - No. 14/765918; dec. 06/15/2013; publ. 08/14/2018.
17. Kiselev I.G. Patent № 2687610 Russian Federation. IPC6 A61B17/56. Orthopedic transformer / Kiselev I.G.; applicant and patentee - No. 2017137713; dec. 10/27/2017; publ. 05/15/2019 Bull. No. 14.
18. Kiselev I.G. Patent № 2739226 Russian Federation. IPC6 A61B17/56. Set for surgical treatment of fractures and reconstructive surgery for damage to the bones of the musculoskeletal system in mammals / applicant and patentee Kiselev I.G. - No. 2020113803; dec. 04/03/2020; publ. 22.12.2020 Bull. No. 36.
19. Koba I.S., Lysenko A.A., Koshchaev A.G., Rodin I.A., Shantyz A.U. Effective treatment of chronic endometritis in cows by florinazol preparation. *Indian Veterinary Journal*, 2017, vol. 94(11), pp. 15-18.
20. Kononovich N.A. Treatment of diaphyseal fractures of the leg bones in small domestic animals by transosseous osteosynthesis according to Ilizarov (experimental clinical study): thesis. Kurgan, 2005, 178 p.
21. Mitin V.N., Yagnikov S.A. Extrafocal osteosynthesis and compression-distraction method G.A. Ilizarov in dogs. *Veterinar*, 1998, 7-8, 4-9.
22. Nagdalian A.A., Oboturova N.P., Krivenko D.V., et al. Why does the protein turn black while extracting it from insects biomass? *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 2019, vol. 29, pp. 145-150.
23. Nuzhnaya K.V., Mishvelov A. E., Osadchiy S.S., Tsoma M.V., Slanova R.H., Kurbanova A.M., Guzheva K.A., Rodin I.A., Nagdalian A.A., Rzhepakovskiy I.V., Piskov S.I., Povetkin S.N., Mikhailenko V. Computer simulation and navigation in surgical operations. *Pharmacophore*, 2019, vol. 10 (4), pp. 43-48.
24. Osipchuk G.V., Povetkin S.N., Nagdalian A.A., et al. The issue of therapy postpartum endometritis in sows using environmentally remedies. *Pharmacophore*, 2019, vol. 10(2), pp. 82-84.
25. Rodin I.A., Gorbacheva Yu.A., Kremianskiy V.V., Kapustin A.V. Sedov A.V. Etiological factors causing the retention of the placenta in cows. *Pharmacophore*, 2021, vol. 12, no. 5, pp. 45-51.

26. Ross Jr. Patent. № 5,921,985. US External fixation device and method., Ross Jr. et al. Date of Jul. 13, 1999.
27. Samoshkin I.B. Reparative regeneration of bone tissue in dogs. *Veterinar*, 1996, no. 11.
28. Semenenko M.P., Kuzminova E.V., Tyapkina E.V., Rodin I.A. Modern View on the Use of Natural Bentonites in the Prevention of Gastroenteric Pathology of Piglets. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 2018, no. 9 (6), 1513.
29. Semenov V.A., Rodin I.A., Okolelova A.I., Vinokurova D.P. Gavrilov B.V Control of Fetal Development in the Female Black Sea Bottlenose Dolphin (*Tursiops Truncatus Ponticus Barabash*, 1940) using Ultrasound Procedure and Studying the Dynamics of the Linear Dimensions of the Fetal Head. *International Journal of Management Humanities (IJMH)*, 2020, vol. 4, issue 5, pp. 39-45.
30. Semenov V.A., Rodin I.A., Vinokurova D.P., Okolelova A.I., Gavrilov B.V. Control of fetal development in the female Black Sea bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus ponticus Barabash*, 1940) using ultrasound procedure and studying the dynamics of the linear dimensions of the chest of the fetus. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences (RJPBCS)*, 2020, vol. 11 (1), pp. 189-202.
31. Solomin L.N. Controlled combined osteosynthesis of long bones: development, justification, clinical use: thesis. Irkutsk, 1996, 40 p.
32. Solomin L.N. Fundamentals of transosseous osteosynthesis. M.: Publishing house BINOM, 2014. Vol. 1. 2nd edition, 328 p.
33. Stepanov M.A. The use of transosseous osteosynthesis in the treatment of fractures of the humerus in dogs (Experimental clinical study): thesis. Kurgan, 2007, 191 p.
34. Vilensky V.A. Usov S.Yu. Solomin L.N. Planning and correction of long bone deformities based on the use of 3D printing models. *Geniy ortopedii*, 2015, no. 1, pp. 34-39. <http://ilizarov-journal.com/index.php/genius/article/view/2369>
35. Yemanov A.A. Treatment of fractures of the forearm bones by transosseous osteosynthesis in dogs (Experimental clinical research): thesis. Kurgan, 2008, 183 p.
36. Zedgenidze I.V., Tishkov N.V. Comparative characteristics of systems of external fixation devices used in the treatment of diaphyseal and intraarticular fractures of long bones. *Siberian Medical Journal*. Irkutsk, 2015, no. 4, p. 130-136.
37. Zykova S.S., Danchuk M.S., Talismanov V.S., Tokareva N.G., Igidov N.M., Koshchaev A.G., Gugushvili N.N., Karmanova O.G., Rodin I.A. Predictive and experimental determination of antioxidant activity in the series of substituted 4 - (2,2 - dimethylpropanoyl)-3-hydroxy-1,5-diphenyl-1,5-dihydro-2H-pyrrrol-2-ones. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2018, vol. 10, no. 1, pp. 164--166.

38. Zykova, S.S., Igidov, N.M., Zakhmatov, A.V., Chernov, I.N., Rodin, I.A. Synthesis and Biological Activity of 2-amino-1-aryl-5-(3,3-dimethyl-2-oxobutylidene)-4-oxo-N-(thiazol-5-yl)-4,5-dihydro-1h-pyrrole-3-carboxamides. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 2018, vol. 52(3), pp. 198-204.
39. Zykova S.S., Shurov S.N., Rodin I.A., Oktyabr'skii .N., Kokhanov M.A. Hepatoprotective and Antioxidant Activity of 8,8-Dimethyl-5-P-Tolyl-3,4,7,8-Tetrahydro-2H-Pyrido[4,3,2-de]Cinnolin-3- One. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 2020, vol. 54(8), pp. 777-780.

### ДАнные ОБ АВТОРАХ

**Киселев Игорь Георгиевич**, канд. вет. наук, докторант кафедры анатомии, ветеринарного акушерства и хирургии  
*Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина*  
ул. им. Калинина, 13, г. Краснодар, 350044, Российская Федерация  
*vet.ortoped.system@gmail.ru*

**Родин Матвей Игоревич**, ассистент кафедры анатомии, ветеринарного акушерства и хирургии  
*Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина*  
ул. им. Калинина, 13, г. Краснодар, 350044, Российская Федерация  
*d22003807@mail.ru*

### DATA ABOUT THE AUTHORS

**Igor G. Kiselev**, Ph.D (Vet. Sci.), doctoral student of the Department of anatomy, veterinary obstetrics and surgery  
*Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina*  
13, Kalinin Str., Krasnodar, 350044, Russian Federation  
*vet.ortoped.system@gmail.com*

**Matvei I. Rodin**, Assistant of the Department of anatomy, veterinary obstetrics and surgery  
*Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina*  
13, Kalinin Str., Krasnodar, 350044, Russian Federation  
*d22003807@mail.ru*

Поступила 24.11.2022

После рецензирования 09.12.2022

Принята 18.12.2022

Received 24.11.2022

Revised 09.12.2022

Accepted 18.12.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-295-312

УДК 614.2



Обзорная статья

## ЛУЧШИЕ ПРАКТИКИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ЗА РУБЕЖОМ

*С.А. Федоткина, А.Х. Ахминеева, М.Г. Карайланов*

*В статье проведен анализ литературных источников наиболее перспективных направлений развития информатизации систем здравоохранения в России и за рубежом. Всемирной Организацией Здравоохранения и Международным союзом электросвязи отмечено, что для здравоохранения цифровые системы не только жизненно необходимы, но и просто неизбежны. На сегодняшний день телемедицинскими технологиями пользуются большие половины слаборазвитых и развивающихся стран, в том числе для применения в чрезвычайных ситуациях. Она активно набирает обороты в развитии и совершенствуется с инфокоммуникационными технологиями.*

*Цель исследования. Анализ наиболее перспективных направлений развития информатизации здравоохранения в России и за рубежом, с учетом стратегической важности борьбы с хроническими неинфекционными заболеваниями.*

*Материал и методы. Аналитическое исследование, систематизирующее международный и российский опыт применения телемедицинских технологий.*

*Результаты обсуждения. По прогнозам ВОЗ, в настоящее время, не только в Российской Федерации, но во всем мире наблюдается тенденция к старению населения, которое к 2050 году составит более 22%. Это ведет к повышению спроса на медицинские услуги. В связи с нехваткой медицинского персонала, с широкой географией проживания населения, недоступностью медицинской помощи и высокой стоимостью лечения, в мире набирает популярность развитие цифровой мобильной медицины (mHealth).*

*Заключение. Развитие и применение в системе здравоохранения цифровой мобильной медицины вносит значительный вклад в снижение бремени неинфекционных заболеваний, как с медицинской точки зрения, так и с экономической.*

**Ключевые слова:** мобильная медицина; телемедицинские технологии; электронное здравоохранение; хронические неинфекционные заболевания

**Для цитирования.** Федоткина С.А., Ахминеева А.Х., Карайланов М.Г. Лучшие практики применения телемедицинских технологий в Российской Федерации и за рубежом // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №3. С. 295-312. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-295-312

Scientific review

## BEST PRACTICES FOR THE APPLICATION OF TELEMEDICAL TECHNOLOGIES IN THE RUSSIAN FEDERATION AND ABROAD

*S.A. Fedotkina, A.Kh. Akhmineeva, M.G. Karailanov*

*The article analyzes the literature sources of the most promising areas of the development of informatization of health care systems in Russia and abroad. The World Health Organization and the International Telecommunication Union have noted, that for healthcare, digital systems are not only vital, but simply inevitable. Today, more than half of the underdeveloped and developing countries use telemedicine technologies, including using in emergency situations. It is actively gaining momentum in development and is being improved with infocommunication technologies.*

**Purpose of the study.** *Analysis of the most promising directions for the development of healthcare informatization in Russia and abroad, taking into account the strategic importance of combating chronic non-communicable diseases.*

**Material and methods.** *An analytical study that systematizes international and Russian experience in the application of telemedicine technologies.*

**Results of the discussion.** *According to WHO forecasts, at present, not only in the Russian Federation, but throughout the world, there is a tendency towards population aging, which by 2050 will be more than 22%. This leads to demand growth for medical services. The development of digital mobile medicine (mHealth) is gaining popularity around the world, due to the shortage of medical personnel, the wide geographical spread of the population, the inaccessibility of medical care and the high cost of treatment*

**Conclusion.** *The development and application of digital mobile medicine in the healthcare system has been contributing significantly to reducing the burden of non-communicable diseases, both from a medical and economical point of view.*

**Keywords:** *mobile medicine; telemedicine technologies; e-health; chronic non-communicable diseases*

***For citation.** Belozеров V.V., Voroshilov I.V., Katin O.I., Nikulin M.A. About a New Level of Self-Organization in the Agricultural Management System. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 295-312. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-295-312*

## **Введение**

В последние годы в мировом масштабе наблюдается значительный рост применения телемедицины, использования технологий для дистанционного оказания медицинских услуг. Технический прогресс, расширение доступа к сети «Интернет» и мобильным устройствам, а также пандемия COVID-19 [1-3], послужили толчком для благоприятного использования телемедицинских технологий, что позволяет пациентам получать медицинскую помощь без физического посещения медицинской организации, и может быть особенно полезно для тех, кто живет в сельской местности или труднодоступных и отдаленных районах, а также для тех, у кого проблемы с мобильностью [4-6]. Телемедицинские технологии позволяют более эффективно использовать ресурсы здравоохранения, поскольку врачи и другие медицинские работники могут видеть больше пациентов удаленно. Кроме того, телемедицина может улучшить результаты лечения пациентов, предоставляя им более частый и удобный доступ к медицинским услугам. Ожидается, что телемедицинские услуги также станут частью протокола обеспечения готовности к чрезвычайным ситуациям и уменьшат несоответствие спроса и предложения между поставщиком и пациентом, распространенное в определенных областях [7-9]. Однако, неизбирательное использование телемедицинских услуг может усилить диспропорции в общественном здравоохранении среди групп этнических меньшинств и может увеличить общие расходы на здравоохранение из-за чрезмерного использования медицинской помощи, а цифровая платформа может поставить под угрозу безопасность данных пациентов. Неоптимальные структуры платежей и регулирующие законы по данным литературы часто подвергались критике в качестве причин неполного внедрения телемедицины. [18].

## **Результаты и обсуждения**

Развитие телемедицинских технологий нашей стране экономически выгодно. Основная причина развития телемедицины в Российской Федерации (РФ) – обусловлена ее географией и распределением населения. Российская телемедицина насчитывает всего несколько десятилетий, в течение которых качественно менялись не только ее технологии и орга-

низация, но и понимание ее возможностей. Формирование телемедицинских центров федеральных клинических медицинских организаций для оказания телеконсультаций в системе поддержки работы врачей. Первые видеоконсультации в РФ прошли в Военно-медицинской академии им. С.М.Кирова в 1995 г. Наибольшую известность в конце прошлого века получила телемедицинская сеть «Медицины катастроф» созданная на базе ВЦМК «Защита» и телемедицинская сеть, разработанная в системе РАО ЖД с использованием передвижных телемедицинских центров [3, 4, 7].

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) в осуществлении политики «Здоровье-2020» отметила ключевую роль общегосударственного подхода с участием всего общества в достижении существенного улучшения здоровья и повышению благополучия населения, а также укреплению общественного здравоохранения [21].

Цифровое здравоохранение – это часть государственной отрасли здравоохранения, которая в совокупности организационных, юридических, экономических, медицинских, научных и технических мер, на базе медицинских организаций всех уровней и форм собственности дополнительно обеспечивает сохранение и укрепление здоровья населения, в том числе предоставление медицинской помощи [10-14, 29]. Цифровое здравоохранение: осуществляет меры государственной поддержки по развитию цифровой медицины; реализует цифровую трансформацию медицины; обеспечивает функционирование и развитие экосистемы цифровой медицины [6].

Внедрение медицинских информационных систем (МИС) потребовало организовать новые рабочие места. За период с 2018 по 2020 г. в сфере здравоохранения создали в Российской Федерации автоматизированных рабочих мест свыше 1 млн. [6].

В настоящее время в Российской Федерации идет реализация федерального проекта «Создание единого цифрового контура здравоохранения (ЕЦКЗ) на основе Единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения (ЕГИСЗ)», предусмотренного в рамках национального проекта «Здравоохранение» [6, 12], запущенного на основании Указа Президента РФ № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2030 года» [12, 13], одним из приоритетных направлений развития страны определена цифровая трансформация, связанная с достижением «цифровой зрелости» ключевых отраслей экономики и социальной сферы, в том числе здравоохранения. Поставлена задача увеличения до 95 % доли массовых социально значимых услуг, доступных в электронном виде.

Основными направлениями реализации проекта являются: внедрение медицинских информационных систем (МИС) в медицинские организации и переход на юридически значимую электронную медицинскую карту; внедрение региональных сервисов и систем для управления здравоохранением; функционирование федерального центра обработки данных и федеральных сервисов Единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения; развитие сервисов личного кабинета пациента «Мое здоровье» единого портала государственных услуг (ЕПГУ). Медицинские организации объединились в единую информационную сеть. Свои сайты или отдельные страницы в сети интернет имеют практически 100% медицинских организаций. Используют различные облачные сервисы.

Информационные системы всех медицинских организаций и профильных ведомств, позволяют оформлять унифицированные электронные медицинские карты и регистры лиц с определенными заболеваниями. На сегодняшний день в 83 регионах страны внедрены медицинские информационные системы, в которых ведутся электронные медицинские карты 46 млн взрослых пациентов, предусматривается возможность для электронной записи к врачу [12-14].

Пандемия вызвала сбой работы системы здравоохранения во всем мире, который одновременно ускорил внедрение изменений, позволяющих обеспечить более качественное лечение, более раннюю и точную диагностику и совершенствование управления цепочкой поставок материалов [2, 5, 14].

Отмеченный пандемией 2020 год вызвал взрывной рост спроса на услуги в области телемедицины. Снижение нагрузки на системы здравоохранения путем проведения дистанционных консультаций и удаленного отслеживания показателей здоровья стало не просто желательным, но жизненно важным как для пациентов, так и для системы здравоохранения в целом. Вместе с тем эта область телемедицины, переживающая сейчас рост, активно развивалась и все предыдущее десятилетие. Дистанционные консультации пациентов развивались одновременно с распространением и обучением населения пользованию интернетом и различными коммуникационными устройствами.

Например, «Регистр COVID» был создан для получения объективной информации об эпидемии на основании максимально детализированных данных – до каждого случая заболевания. К регистру подключено 5 тыс. медицинских организаций, 18 тыс. пользователей, зафиксированы данные об 1 млн больных, о динамике заполнения коечного фонда по регионам, лабораторных исследованиях. [6, 14].

Абсолютно все документы, касающиеся здоровья пациента, включая рецепты на сильнодействующие препараты, можно создавать, хранить, передавать и обрабатывать в электронном виде [5].

Оцифрованные медицинские данные изменили систему отношений «пациент-врач». Большинство медицинских приборов, как диагностических, так и лечебных, стали генерировать медицинские данные в цифровом виде. Любой пациент, которому сделана компьютерная или магнитно-резонансная томография может получить все данные исследования на цифровом носителе. Многие лаборатории присылают пациентам результаты обследования в цифровом виде по электронной почте. Это значительно облегчает передачу клинической информации на расстоянии без искажения данных и потери их ценности [9-11].

Особо стоит выделить в отношении «пациент-врач», мобильное здравоохранение (mHealth, mobile health) [9-11]. В повышении доступности и облегчения контактов «пациент-врач», немаловажную роль сыграли такие инструменты как электронная почта, интернет-мессенджеры, мобильные приложения. Именно благодаря этим каналам коммуникации, врачи и пациенты стали больше общаться друг с другом, без труда передавать оцифрованные медицинские данные, что помогает принимать более объективные клинические решения, более того -вовлекать в этот процесс самих пациентов [1, 5, 9, 11].

На основании вышеперечисленного определены следующие перспективные направления развития:

*Информирование граждан в системе здравоохранения* предполагает надежное обеспечение населения валидными сведениями по вопросам получения медицинской помощи, ведения здорового образа жизни, профилактики заболеваний.

*Профилактика заболеваний и формирование здорового образа жизни*, которые способствуют улучшению общественного и индивидуального здоровья, являются основой профилактики заболеваний, а и их формирование – важнейшей задачей социальной политики государства. С развитием интернета все больше и больше граждан пользуются им для получения информации на специализированных сайтах.

Предоставляя гражданам интерактивный инструмент для оценки факторов риска развития хронических неинфекционных заболеваний, повышается информированность о них и мотивирует к соблюдению врачебных рекомендаций, а также улучшает их социальное благополучие.

Обработка собираемых данных позволит сформировать индивидуальную программу сохранения здоровья для каждого конкретного гражда-

нина, и, кроме того, рассчитать тенденции развития здоровья для всей выбранной популяции, за счет чего возможно перераспределение ресурсов системы здравоохранения.

*Интеллектуальные системы* для применения в медицине и здравоохранении сводятся к принятию врачебных решений на основании обработки показателей здоровья пациента и принятию управленческих решений на основе обработки аналитических и статистических данных.

Наиболее перспективными являются следующие направления: система распознавания патологии по изображениям в медицине (рентгенография, компьютерная томография, магнитно-резонансная томография, ультразвуковая диагностика, лабораторные методы диагностики и т.д.); системы помощи принятия решения при постановке диагнозов как врачами, так и пациентами, включая помощь в выборе специалиста и дальнейших диагностических шагов; интеллектуальная система поддержки выбора методов фармакотерапии.

*Оценка качества оказания медицинской помощи.* предполагает развитие в интернете возможности для каждого гражданина оценить качество лечения, отметить положительные и отрицательные моменты при получении медицинской помощи и принять активное участие в создании устойчивой системы рейтинга медицинских организаций и медицинских работников [9].

Одна из самых молодых форм образования в медицинской среде – *дистанционное образование*. Это взаимодействие преподавателя и учащихся между собой на расстоянии, имеющее все присущие учебному процессу компоненты и реализуемое специфичными средствами интернет-технологий или другими средствами, предусматривающими интерактивность [9].

Российская практика не менее разнообразна, чем зарубежная. совместным Приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации и Российской академии медицинских наук [8] была утверждена «Концепция развития телемедицинских технологий в Российской Федерации». В качестве ключевых рассматривались такие задачи, как развитие телемедицинских технологий на разных уровнях; консультативная помощь [1-5].

Лидерами в телемедицине являются ряд государств благодаря развитой инфраструктуре здравоохранения, достижениям в области технологий, благоприятной нормативно-правовой среде и инновационным моделям оказания медицинской помощи. Соединенные Штаты Америки (США) лидируют благодаря присутствию крупных технологических компаний, вложивших значительные денежные средства в технологии в сфере здо-

ровья, развитой системе здравоохранения, относительной гибкости нормативно-правовой базы. В стране также проживает этнически и социально разнообразное население, что делает телемедицину привлекательным решением для оказания медицинской помощи недостаточно обслуживаемым контингентам граждан.

За последние три года широкое внедрение телемедицины в США заметно изменилось благодаря новому законодательству [19].

Необходимость этих услуг потребовала изменений на всех уровнях, в том числе ослабления технических регламентов в США для применения коммерческого оборудования на территории страны [21]. Развитие телемедицины в Канаде обусловлено ее географией и распределением населения. Телемедицина стала важным инструментом оказания медицинской помощи отдаленным и сельским общинам, где доступ к традиционным медицинским услугам ограничен. В пандемию COVID-19 телемедицина стала эффективным и доступным решением для оптимизации оказания медицинской помощи при минимизации воздействия от человека к человеку. По данным коллектива авторов, проводивших анализ публикационной активности канадских ученых в телемедицине было отмечено, что преобладающими дисциплинами и заболеваниями, изучаемыми в канадской литературе по телемедицине, были первичная медицинская помощь, COVID-19, телепсихиатрия, сердечная недостаточность и психическое здоровье. [17].

Скандинавские страны также традиционно являются лидерами в сфере телемедицины. Они одни из первых внедрили телемедицинские консультации в рутинную клиническую практику и в настоящее время перед ними стоит задача вывести возможности телемедицины в мобильный сегмент. Так, например, в Дании, одном из лидеров цифровизации, реализована «Стратегия цифрового здравоохранения на 2018–2022 годы» и действует Датский национальный портал электронного здравоохранения. Кроме того, в стране реализуется одна из самых масштабных в Европе стратегий цифрового здравоохранения: правительство инвестирует в создание платформы «Цифровой сервис мирового класса» — World-Class Digital Service (WCDS) для доступа к обобщенным данным о датских гражданах [1].

Успешным датским опытом может считаться проект Tele Care North, который внедрил мониторинг на дому для поддержки пациентов, страдающих хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ). В рамках проекта были установлены новые межсекторальные роли и процедуры для поддержки регионального внедрения мониторинга на дому. Это про-

ложило путь к новой модели комплексного ухода, которая позволяет распространить концепцию на другие группы пациентов. С 2013 года около 1400 пациентов с хронической обструктивной болезнью легких в регионе Северная Дания согласились на мониторинг с помощью телемедицинских технологий. Анализ наблюдений показал, что у пациентов с тяжелой формой хронической обструктивной болезни легких улучшилось качество жизни, а количество и продолжительность госпитализаций сократились на 11% и 20% соответственно [16]. Основываясь на положительных результатах для пациентов с хронической обструктивной болезнью легких, опыт дистанционного домашнего мониторинга был расширен и масштабирован на пациентов с сердечной недостаточностью.

Несмотря на энтузиазм мирового сообщества здравоохранения, страны с низким и средним уровнем дохода населения не продемонстрировали широкого уровня внедрения в политике укрепления здоровья или государственных инвестиций. Исследования подтверждают использование приложений mHealth («мобильная медицина») для улучшения показателей здоровья, таких как материнская и младенческая смертность, приверженность лечению, показатели иммунизации и профилактика инфекционных заболеваний. Однако развивающиеся страны сталкиваются со значительными препятствиями на пути успешного осуществления, поддержания и расширения инициатив в области здравоохранения, направленных на улучшение здоровья уязвимых групп населения. После определения mHealth, инициативы широко использовались во всем мире в таких областях, как охрана материнства, дородовой уход, уход за младенцами, профилактика ВИЧ/СПИДа, приверженность лечению, сердечно-сосудистые заболевания, диабет и санитарное просвещение. Исследования были проведены в нескольких развивающихся странах Африки, Азии и Латинской Америки. По данным группы авторов систематического обзора [20] наиболее заметными результатами в области здравоохранения, улучшенными с помощью mHealth («мобильная медицина»), были инфекционные заболевания и материнское здоровье, на долю которых в совокупности пришлось 67% от общего числа исследований, включенных в анализ. Обзор литературы по поддерживаемым SMS вмешательствам для эпиднадзора, ведения, соблюдения режима лечения и профилактики неинфекционных заболеваний в Индии, Южной Африке и Кении показал, что мобильные телефоны хорошо воспринимаются населением [26].

В Нигерии для понимания представлений женщин, подверженных высокому риску материнской смерти, использовались вопросники для

мобильных устройств. Несмотря на то, что более 90% женщин владели мобильными телефонами, отсутствовали инновационные методы для улучшения предоставления информации о материнском здоровье этой группе населения [29; 31].

В Азиатском регионе лидером по использованию приложений для смартфонов является Китай, где приложение для смартфонов и текстовые сообщения использовались для улучшения охвата вакцинацией среди детей [30].

В отдаленных районах Вьетнама приложение mMom использовалось для улучшения знаний беременных женщин о здоровье матери и младенца. Ожидаемой проблемой был высокий уровень интеграции между местными партнерами, который требовал постоянного общения и вовлечения для координации инициативы mHealth [22].

Крупномасштабное исследование, проведенное в Латинской Америке и Карибском бассейне, было направлено на изучение потребностей недостаточно обслуживаемых групп населения и их приверженности использованию информационных и коммуникационных технологий. Наибольшими проблемами были отсутствие устойчивости финансовых и технических ресурсов, отсутствие технологической грамотности среди участников, незнакомых с использованием информационных и коммуникационных технологий [24].

Проведенное в Аргентине, Гватемале и Перу исследование для первичной профилактики гипертензии, выявило проблемы, которые заключались в неприемлемости инноваций mHealth для целевых сообществ, что подчеркнуло необходимость адаптации вмешательств к потенциальным проблемам с грамотностью населения, связанными с особенностями культуры этноса [27].

В Бразилии проведенное исследование по наблюдению за беременными с помощью мобильного телефона показало, что только пятая часть женщин, действительно были заинтересованы в участии в нем [28].

В Таджикистане, Боливии и Палестине использовались текстовые сообщения для повышения осведомленности молодежи об использовании противозачаточных средств для предотвращения нежелательной беременности [23]. В городских и сельских районах Гватемалы текстовые сообщения использовались для напоминания родителям младенцев о необходимости проведения вакцинации [15].

### **Заключение**

В результате проведенного анализа литературных источников, наиболее перспективным направлением развития информатизации систем здравоохранения в России и за рубежом, с учетом стратегической важности

сти борьбы с хроническими неинфекционными заболеваниями, является программное обеспечение в области мобильной медицины – «mHealth». Оно имеет значительные преимущества по сравнению с традиционными методами профилактики инфекционных и неинфекционных заболеваний.

Медицинская информационная система является универсальной, с помощью которой появляется возможность решать задачи при модификации отдельных подсистем Единой медицинской информационно-аналитической системы. Такой подход автоматизации может быть использован для новых задач по внедрению программного обеспечения в медицинских организациях.

Развитие и применение в практическом здравоохранении технологий дистанционной мобильной медицины может внести значительный вклад в снижение бремени неинфекционных заболеваний, как с медицинской точки зрения, так и с экономической.

#### *Список литературы*

1. Аксенова Е.И., Камынина Н.Н., Верзилина Н.Н. Мировые технологические тренды в медицине и здравоохранении // Московская медицина. 2021. №5(45). С. 6-19.
2. Акулин И.М., Чеснокова Е.А., Пресняков Р.А., Прядко А.Е., Гурьянова Н.Е. Основные положения конвенции совершенствования наднационального правового регулирования в ЕАЭС в сфере здравоохранения в условиях развития инновационных цифровых технологий // Врач и информационные технологии. 2022. №2. С. 74-82.
3. Борисов Д.Н., Иванов В.В. Организационная телемедицина // Врач и информационные технологии. 2017. № 3. С. 112-120.
4. Леванов В.М., Орлов О.И., Мерекин Д.В. Исторические периоды развития телемедицины в России // Телемедицина. 2013. №4. С. 67-73.
5. Владзимирский А.В., Лебедев Г.С., Шадеркин И.А., Миронов Ю.Г. Методология оценки рисков диагностики и назначения лечения в ходе телемедицинских консультаций пациентов и законных представителей // Врач и информационные технологии. 2022. № 2. С. 34-51.
6. Гомалеев А.О. Создание механизмов взаимодействия медицинских Организаций на основе единой государственной Информационной системы в сфере здравоохранения (ЕГИСЗ). // Journal of Economy and Business. <https://doi.org/10.24411/2411-0450-2019-10824>
7. Новые информационные технологии на пороге XXI века / Р. М. Юсупов и др.: под ред. проф. Р. М. Юсупова, проф. Р. И. Полонникова; РАН, Ин-т информатики и автоматизации СПб.: Анатолия, 1998. 490 с.

8. Музалева О.В., Федоткина С.А., Хугаева Э.В. Ретроспективный анализ использования телемедицинских технологий для профилактики, диагностики и лечения гипертонической болезни (обзор литературы) // International Journal of Advanced Studies in Medicine and Biomedical Sciences. 2021. № 2. С.4-22.
9. Лебедев Г.С., Шадеркин И.А., Фомина И.В., Лисненко А.А., Рябков И.В., Качковский С.В., Мелаев Д.В. Эволюция интернет-технологии в системе здравоохранения. // Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения. 2022. №4. <https://doi.org/10.29188/2542-2413-2017-3-2-63-78>
10. Луценко Е.В. Развитие медицинских информационных технологий в Российской Федерации // Вятский медицинский вестник. 2017. № 2(54). С. 73-76.
11. Мишкин И.А., Гусев А.В., Концевая А.В., Драпкина О.М. Эффективность использования mHealth в качестве инструмента профилактики сердечно-сосудистых заболеваний // Систематический обзор. Врач и информационные технологии. 2022. №4. С. 12-27.
12. Постановление Правительство Российской Федерации от 9 февраля 2022 года N 140 «О единой государственной информационной системе в сфере здравоохранения». [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_409253/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_409253/)
13. «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204. [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_297432/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_297432/)
14. Телемедицина. Доклад о результатах второго глобального обследования в области электронного здравоохранения. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/112505>
15. Beratarrechea A, Diez-Canseco F, Fernández A, Kanter R, Letona P, Martinez H, Miranda JJ, Ramirez-Zea M, Rubinstein A. Aceptabilidad de una intervención basada en Salud Móvil para modificar estilos de vida en prehipertensos de Argentina, Guatemala y Perú: un estudio piloto [Acceptability of a mobile health based intervention to modify lifestyles in prehypertensive patients in Argentina, Guatemala and Peru: a pilot study] // Rev Peru Med Exp Salud Publica. 2015. Vol. 32(2). P. 221-229.
16. Connected health. Denmark a telehealth nation. <https://www.healthcaredenmark.dk/media/r2rptq5a/telehealth-v1.pdf>
17. Jim S. Xie, Keanan Nanji, Mohammad Khan, Muhammad F. Khalid, Sunir J. Garg, Lehana Thabane, Sobha Sivaprasad and Varun Chaudhary. /Publication trends in telemedicine research originating from Canada // Health-

- care Management Forum. 2022. Vol. 35, Issue 3. P. 153-160. <https://doi.org/10.1177/08404704211070240>
18. Keesara S., Jonas A., Schulman K. Covid-19 and health care's digital revolution // *N Engl J Med*. 2020. Vol. 382(23), e82. <https://doi.org/10.1056/NEJMp2005835>
  19. Scott Kruse C., Karem P., Shifflett K., Vegi L., Ravi K., Brooks M. Evaluating barriers to adopting telemedicine worldwide: A systematic review // *Journal of Telemedicine and Telecare*. 2018. Vol. 24(1). P. 4-12. <https://doi.org/10.1177/1357633x16674087>
  20. Kichloo A., Albosta M., Dettloff K., Wani F., El-Amir Z., Singh J., et al. Telemedicine, the current COVID-19 pandemic and the future: a narrative review and perspectives moving forward in the USA // *Family Med Community Health*. 2020. Vol. 8(3), e000530. <https://doi.org/10.1136/fmch-2020-000530>
  21. Kruse C, Betancourt J, Ortiz S, Valdes Luna SM, Bamrah IK, Segovia N/Barriers to the Use of Mobile Health in Improving Health Outcomes in Developing Countries: Systematic Review // *J Med Internet Res*. 2019. Vol. 21(10), e13263. <https://doi.org/10.2196/13263>
  22. Loris Marin, Guido Ambrosini, Federica Maria Fantò, Manuela Della Vella, Alberto Massaro, Francesco Dessole, Giampiero Capobianco, Alessandra Andriani. Telemedicine for Virtual Consultations During COVID-19 Pandemic in a Medically Assisted Reproduction Center: Patients' Perspective // *Telemedicine and e-Health*. Mar. 2023. Vol. 29 Issue 3. P. 459-465. <http://doi.org/10.1089/tmj.2021.0509>
  23. McBride B., Nguyen L.T., Wiljer D., Vu N.C., Nguyen C.K., O'Neil J. Development of a maternal, newborn and child mHealth intervention in Thai Nguyen Province, Vietnam: protocol for the mMom Project // *JMIR Res Protoc*. 2018. Vol. 7(1), e6. <https://doi.org/10.2196/resprot.7912>
  24. McCarthy O.L., Wazwaz O., Osorio Calderon V. et al. Development of an intervention delivered by mobile phone aimed at decreasing unintended pregnancy among young people in three lower middle income countries // *BMC Public Health*. 2018. Vol. 18(1), 576. <https://doi.org/10.1186/s12889-018-5477-7>
  25. Rajan J.V., Moura J., Gourley G. et al. Understanding the barriers to successful adoption and use of a mobile health information system in a community health center in São Paulo, Brazil: a cohort study // *BMC Med Inform Decis Mak*. 2016. Vol. 16, 146. <https://doi.org/10.1186/s12911-016-0385-1>
  26. Beratarrechea, Andrea et al. Acceptability of a Mobile Health based intervention to modify lifestyles in prehypertensive patients in Argentina, Guatemala and Peru: a pilot study // *Rev. perú. med. exp. salud publica*. 2015. Vol. 32(2).

- P. 221-229. [http://www.scielo.org/pe/scielo.php?pid=S1726-463420150002002&script=sci\\_abstract&tlng=en](http://www.scielo.org/pe/scielo.php?pid=S1726-463420150002002&script=sci_abstract&tlng=en)
27. Snyders F.J. Determining the Feasibility of Using Mobile Phones to Strengthen the Information Management of Preventative Health Care in South Africa [master's thesis]. Stellenbosch, South Africa: Stellenbosch University, 2013. <http://hdl.handle.net/10019.1/85564>
  28. Vieira E.M., Vieira C.S., Bonifácio L.P., de Oliveira Ciabati L.M., Franzon A.C., Zaratini F.S., et al. PRENACEL: Development and Evaluation of an M-Health Strategy to Improve Prenatal Care in Brazil. 2016. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1126866>
  29. World Health Organization. Maternal mortality. Geneva, Switzerland: WHO, 2018. URL: <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/maternal-mortality>
  30. Wu Q., Zhang Y., Chang S., Wang W., Helena van Velthoven M., Han H., Xing M., Chen L., Du X., Scherpbier R.W. Monitoring and evaluating the adherence to a complementary food supplement (Ying Yang Bao) among young children in rural Qinghai, China: a mixed methods evaluation study // J Glob Health. 2017. Vol. 7(1), 011101. <https://doi.org/10.7189/jogh.07.011101>

### References

1. Aksenova E.I., Kamynina N.N., Verzilina N.N. *Moskovskaya meditsina*, 2021, no. 5(45), pp. 6-19.
2. Akulin I.M., Chesnokova E.A., Presnyakov R.A., Pryadko A.E., Gur'yanova N.E. *Vrach i informatsionnye tekhnologii*, 2022, no. 2, pp. 74-82.
3. Borisov D.N., Ivanov V.V. *Vrach i informatsionnye tekhnologii*, 2017, no. 3, pp. 112-120.
4. Levanov V.M., Orlov O.I., Merekin D.V. *Teleditsina*, 2013, no. 4, pp. 67-73.
5. Vladzimirskiy A.V., Lebedev G.S., Shaderkin I.A., Mironov Yu.G. *Vrach i informatsionnye tekhnologii*, 2022, no. 2, pp. 34-51.
6. Gomaleev A.O. *Journal of Economy and Business*. <https://doi.org/10.24411/2411-0450-2019-10824>
7. Yusupov R. M. et al. *Novye informatsionnye tekhnologii na poroge KhKhI veka* [New information technologies on the threshold of the XXI century] / ed. prof. R. M. Yusupov, prof. R. I. Polonnikov; RAS, Institute of Informatics and Automation, St. Petersburg: Anatolia, 1998, 490 p.
8. Muzaleva O.V., Fedotkina S.A., Khugaeva E.V. *International Journal of Advanced Studies in Medicine and Biomedical Sciences*, 2021, no. 2, pp. 4-22.
9. Lebedev G.S., Shaderkin I.A., Fomina I.V., Lisnenko A.A., Ryabkov I.V., Kachkovskiy S.V., Melaev D.V. *Rossiyskiy zhurnal teleditsiny i elektronnoogo zdravoookhraneniya*, 2022, no. 4. <https://doi.org/10.29188/2542-2413-2017-3-2-63-78>

10. Lutsenko E.V. *Vyatskiy meditsinskiy vestnik*, 2017, no. 2(54), pp. 73-76.
11. Mishkin I.A., Gusev A.V., Kontsevaya A.V., Drapkina O.M. *Sistematischeskiy obzor. Vrach i informatsi-onnye tekhnologii*, 2022, no. 4, pp. 12-27.
12. Decree of the Government of the Russian Federation of February 9, 2022 N 140 "On a unified state information system in the field of healthcare". [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_409253/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_409253/)
13. "On the national goals and strategic objectives of the development of the Russian Federation for the period up to 2024" Decree of the President of the Russian Federation of 07.05.2018 No. 204. [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_297432/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_297432/)
14. Telemedicine. Report on the results of the second global eHealth survey. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/112505>
15. Beratarrechea A, Diez-Canseco F, Fernández A, Kanter R, Letona P, Martínez H, Miranda JJ, Ramirez-Zea M, Rubinstein A. Aceptabilidad de una intervención basada en Salud Móvil para modificar estilos de vida en prehipertensos de Argentina, Guatemala y Perú: un estudio piloto [Acceptability of a mobile health based intervention to modify lifestyles in prehypertensive patients in Argentina, Guatemala and Peru: a pilot study]. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*, 2015, vol. 32(2), pp. 221-229.
16. Connected health. Denmark a telehealth nation. <https://www.healthcaredenmark.dk/media/r2rptq5a/telehealth-v1.pdf>
17. Jim S. Xie, Kean Nanji, Mohammad Khan, Muhammad F. Khalid, Sunir J. Garg, Lehana Thabane, Sobha Sivaprasad and Varun Chaudhary. Publication trends in telemedicine research originating from Canada. *Healthcare Management Forum*, 2022, vol. 35, issue 3, pp. 153-160. <https://doi.org/10.1177/084047042111070240>
18. Keesara S., Jonas A., Schulman K. Covid-19 and health care's digital revolution. *N Engl J Med.*, 2020, vol. 382(23), e82. <https://doi.org/10.1056/NEJMp2005835>
19. Scott Kruse C., Karem P., Shifflett K., Vegi L., Ravi K., Brooks M. Evaluating barriers to adopting telemedicine worldwide: A systematic review. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 2018, vol. 24(1), pp. 4-12. <https://doi.org/10.1177/1357633x16674087>
20. Kichloo A., Albosta M., Dettloff K., Wani F., El-Amir Z., Singh J., et al. Telemedicine, the current COVID-19 pandemic and the future: a narrative review and perspectives moving forward in the USA. *Family Med Community Health*, 2020, vol. 8(3), e000530. <https://doi.org/10.1136/fmch-2020-000530>
21. Kruse C, Betancourt J, Ortiz S, Valdes Luna SM, Bamrah IK, Segovia N/Barriers to the Use of Mobile Health in Improving Health Outcomes in Developing Countries: Systematic Review. *J Med Internet Res.*, 2019, vol. 21(10), e13263. <https://doi.org/10.2196/13263>

22. Loris Marin, Guido Ambrosini, Federica Maria Fantò, Manuela Della Vella, Alberto Massaro, Francesco Dessole, Giampiero Capobianco, Alessandra An-drisoni. Telemedicine for Virtual Consultations During COVID-19 Pandemic in a Medically Assisted Reproduction Center: Patients' Perspective. *Telemedicine and e-Health Mar.*, 2023, vol. 29, issue 3, pp. 459-465. <http://doi.org/10.1089/tmj.2021.0509>
23. McBride B., Nguyen L.T., Wiljer D., Vu N.C., Nguyen C.K., O'Neil J. Development of a maternal, newborn and child mHealth intervention in Thai Nguyen Province, Vietnam: protocol for the mMom Project. *JMIR Res Protoc.*, 2018, vol. 7(1), e6. <https://doi.org/10.2196/resprot.7912>
24. McCarthy O.L., Wazwaz O., Osorio Calderon V. et al. Development of an intervention delivered by mobile phone aimed at decreasing unintended pregnancy among young people in three lower middle income countries. *BMC Public Health*, 2018, vol. 18(1), 576. <https://doi.org/10.1186/s12889-018-5477-7>
25. Rajan J.V., Moura J., Gourley G. et al. Understanding the barriers to successful adoption and use of a mobile health information system in a community health center in São Paulo, Brazil: a cohort study. *BMC Med Inform Decis Mak.*, 2016, vol. 16, 146. <https://doi.org/10.1186/s12911-016-0385-1>
26. Beratarrechea, Andrea et al. Acceptability of a Mobile Health based intervention to modify lifestyles in prehypertensive patients in Argentina, Guatemala and Peru: a pilot study. *Rev. perú. med. exp. salud publica*, 2015, vol. 32(2), pp. 221-229. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-46342015000200002&script=sci\\_abstract&lng=en](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-46342015000200002&script=sci_abstract&lng=en)
27. Snyders F.J. Determining the Feasibility of Using Mobile Phones to Strengthen the Information Management of Preventative Health Care in South Africa [master's thesis]. Stellenbosch, South Africa: Stellenbosch University, 2013. <http://hdl.handle.net/10019.1/85564>
28. Vieira E.M., Vieira C.S., Bonifácio L.P., de Oliveira Ciabati L.M., Franzon A.C., Zaratini F.S., et al. PRENACEL: Development and Evaluation of an M-Health Strategy to Improve Prenatal Care in Brazil. 2016. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1126866>
29. World Health Organization. Maternal mortality. Geneva, Switzerland: WHO, 2018. URL: <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/maternal-mortality>
30. Wu Q., Zhang Y., Chang S., Wang W., Helena van Velthoven M., Han H., Xing M., Chen L., Du X., Scherpbier R.W. Monitoring and evaluating the adherence to a complementary food supplement (Ying Yang Bao) among young children in rural Qinghai, China: a mixed methods evaluation study. *J Glob Health*, 2017, vol. 7(1), 011101. <https://doi.org/10.7189/jogh.07.011101>

**ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ**

**Федоткина Светлана А.**, 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 бюджетное образовательное 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*

**Ахминеева Азиза Х.**, 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  
ул. Академика Лебедева, 6, г. Санкт-Петербург, 194044, Российская Федерация  
aaziza@mail.ru*

**Карайланов Михаил Г.**, 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  
ул. Академика Лебедева, 6, г. Санкт-Петербург, 194044, Российская Федерация  
karaylanov@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, academic Lebedev Str., St.-Petersburg, 194044, Russian Federation;  
5, Mendeleevskaya Line, Saint-Petersburg, 199034, Russian Federation*

*safedotkina@mail.ru*

*SPIN-code: 1867-5544*

*ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3077-443X>*

**Aziza Kh. Akhmineyeva**, Doctor of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Health Organization and Public Health

*Military Medical Academy named after S. M. Kirov*

*6, academic Lebedev Str., St.-Petersburg, 194044, Russian Federation*

*aaziza@mail.ru*

*SPIN-code: 1302-7645*

*ResearcherID: HPG-6438-2023*

*Scopus Author ID: 56525345200*

**Mikhail G. Karaylanov**, Doctor of medical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Health Organization and Public Health

*Military Medical Academy named after S. M. Kirov*

*6, academic Lebedev Str., St.-Petersburg, 194044, Russian Federation*

*karaylanov@mail.ru*

*SPIN-code: 7110-9788*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6584-9492>*

*Researcher ID: J-1471-2016*

*Scopus Author ID: 23473000300*

Поступила 24.03.2023

После рецензирования 31.03.2023

Принята 05.04.2022

Received 24.03.2023

Revised 31.03.2023

Accepted 05.04.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-313-336

УДК 616-092.18:616-006.04



Обзорная статья

## ПАНОРАМА ЖЕЛУДОЧНОГО И КИШЕЧНОГО КАНЦЕРОГЕНЕЗА: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

*Е.С. Агеева, О.В. Штыгашева, Ю.И. Шрамко*

**Цель.** Провести анализ данных, опубликованных в современной литературе, о молекулярных механизмах канцерогенеза желудка и кишечника, который может стать основой для управления процессом снижения популяционных и индивидуальных рисков преждевременной смерти от злокачественных новообразований желудка и кишечника.

**Материалы и методы.** В обзор включены данные зарубежных и отечественных исследований, опубликованных в электронных библиографических базах данных Pubmed, Cyberleninka, Elibrary за последние 10 лет.

**Результаты.** Приводится анализ данных, посвященных роли семейства генов *Wnt* и  $\beta$ -катенине – ключевых модуляторах пролиферации и выживания опухолевых клеток – в патогенезе злокачественных опухолей желудка и толстой кишки и канцерогенному потенциалу *Helicobacter pylori* при раке желудка, а также и бактериям-драйверам, способствующим развитию рака толстой кишки.

**Заключение.** Рак желудка и рак толстой кишки – гетерогенные заболевания с разнообразными молекулярными и гистологическими подтипами, имеющие как сходства, так и различия паттернов канцерной промоции. Прогресс в достижении транспарентности генеза данных заболеваний ассоциируется с пониманием механизмов цитотоксического и генотоксического влияния, окислительного стресса и хронического воспаления.

**Ключевые слова:** обзор; *Wnt* /  $\beta$ -катенин сигнальный пути; *Helicobacter pylori*; канцерогенез

**Для цитирования.** Агеева Е.С., Штыгашева О.В., Шрамко Ю.И. Пано-рама желудочного и кишечного канцерогенеза: обзор литературы // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №3. С. 313-336. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-313-336

Scientific review

## PANORAMA OF GASTRIC AND INTESTINAL CARCINOGENESIS: LITERATURE REVIEW

*E.S. Ageeva, O.V. Shtygasheva, Iu.I. Sharmko*

**Purpose.** *The aim of the review is to analyze the modern data on the molecular mechanisms of stomach and intestinal carcinogenesis, which can be the basis for managing of malignant stomach and intestine neoplasms mortality risks' reduction.*

**Materials and methods.** *The review includes data from foreign and domestic studies published in the electronic bibliographic databases PubMed, Cyberleninka, Elibrary over the past 10 years.*

**Results.** *It is given the analysis of Wnt and  $\beta$ -catenin gene family role in the pathogenesis of stomach and colon malignant tumors and the carcinogenic potential of Helicobacter pylori in gastric cancer, as well as the driver bacteria contributing to the development of colon cancer.*

**Conclusion.** *Stomach cancer and colon cancer are heterogeneous diseases with diverse molecular and histological subtypes, having both similarities and differences in the patterns of cancer promotion. Progress in transparency genesis of these diseases is associated with an understanding of cytotoxic and genotoxic effects, oxidative stress and chronic inflammation mechanisms.*

**Keywords:** *review; Wnt/ $\beta$ -catenin signaling pathway; Helicobacter pylori; carcinogenesis*

**For citation.** *Ageeva E.S., Shtygasheva O.V., Shramko Iu.I. Panorama of Gastric and Intestinal Carcinogenesis: Literature Review. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 313-336. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-313-336*

### Введение

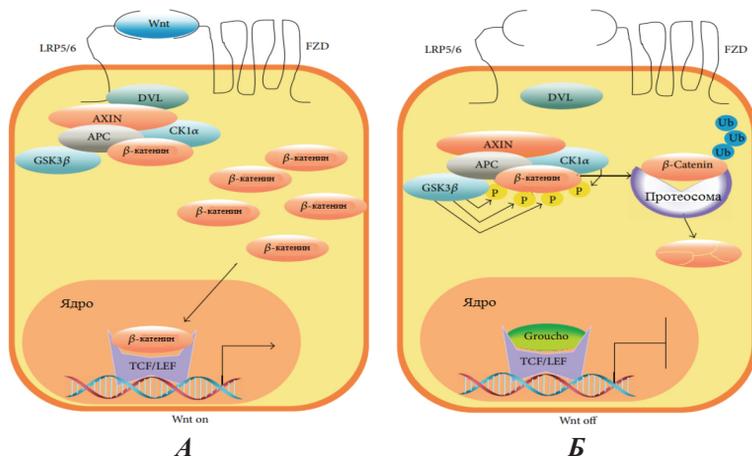
Рак желудка (РЖ) и рак толстой кишки (РТК) сохраняют актуальность в рейтинге ведущих клинических проблем: входят в первую десятку по заболеваемости и удерживают лидирующее положение по смертности в структуре злокачественных новообразований (ЗНО) [18]. Спорадические формы, связанные с фоновой патологией, преобладают среди ЗНО желудка и толстой кишки [6]. Онкогенез в этом контексте, результат длительного накопления генных мутаций и функциональных изменений микроокружения опухоли [2,9]. Формирование метастатического фенотипа контролируется молекуляр-

но-биологическими факторами ангиогенеза, а их экспрессия детерминирует скорость роста и распространения рака [4,16]. Потенциал метастазирования возникает еще на доклинических стадиях опухоли. Длительная клиническая латентность рака препятствует диагностике в оптимальный период для проведения радикального лечения. Исследователи предлагают, наряду с эндоскопией, сочетанной с биопсией, в скрининге на РЖ и РТК использовать молекулярно-генетические маркеры для идентификации компонентов опухолевого происхождения (циркулирующие опухолевые клетки, циркулирующая опухолевая ДНК, сывороточные мРНК и экзосомы) [11], их продолжают выявлять и валидизировать. В паттерне клеточного канцерогенеза выделяют последовательные стадии [3]. *Инициация* первичных необратимых хромосомных нарушений под действием канцерогенов: активируются онкогены, аккумулируются генные мутации [42]. Клетка с мутациями приобретает способности: изменять внутренние биохимические процессы, увеличивать продукцию факторов роста, регулировать метаболизм, «игнорировать» защиту от опухоли, пролонгировать «жизнь» клеточных структур [12]. Следующая стадия – *промоция* (лат. *promotio* – *продвижение*). Для возникновения ЗНО (злокачественных новообразований) на основе генной трансформации, зафиксированной в потомстве, требуется simultанное воздействие канцерогенов-инициаторов и факторов промоции, которые ускоряют опухолевый рост. Промоция в отличие от инициации, обратима: прекращение действия промоторов может предотвратить малигнизацию [14] *Прогрессия* – последняя стадия, на которой диагностируется опухоль с типичными свойствами: неуправляемый рост, «эгоистический» захват энергетических ресурсов, метастазирование, иммунный «побег» [25, 26]. В этом обзоре мы концентрируемся на факторах канцерной промоции онкогенеза в желудке и толстой кишке, семействе генов Wnt и β-катенине, как ключевом модуляторе пролиферации и выживания опухолевых клеток.

### **Факторы канцерной промоции**

Активация онкогенов в хромосомном аппарате и подавление генов-супрессоров принципиально важные молекулярные изменения. Представители семейства генов Wnt задействованы в регуляции широкого спектра нормальных и патологических процессов [51]. Сигнальным путем Wnt/β-катенин регулируются около 400 генов, участвующих в росте, дифференцировке, апоптозе, выживании клеток. Важнейшими Wnt-зависимыми генами являются с-Мус, циклин Д, сурвивин, MMP7 (*matrix metalloproteinase 7*), MDR1 (*multidrug resistance mutation 1*) и CD44 [14].

Функция Wnt/ $\beta$ -катенин сигнального пути – сохранение баланса между стволовыми, делящимися и дифференцирующимися клетками кишечного эпителия [1]. Нарушение данного равновесия под действием определенных модуляторов в постоянно регенерирующей ткани лежит в основе развития ЗНО [34]. И тогда путь Wnt/ $\beta$ -катенин становится одним из механизмов поддержания пула делящихся клеток опухоли. Сигнальный путь Wnt имеет несколько механизмов активации [5]. Тот, где ключевым компонентом является  $\beta$ -катенин, считается каноническим. Необходимо отметить, что присутствие Wnt стабилизируется в комплексе с Frizzled/LRP и активирует механизмы, приводящие к перемещению  $\beta$ -катенин в ядро [20] (рис. 1А). В этой модификации  $\beta$ -катенин действует как коактиватор факторов TCF (*transcription factor – фактор транскрипции*) / LEF (*lymphoid enhancer factor – фактор лимфоидного энхансера*) [36]. Результатом активации сигнального пути является экспрессия генов-мишеней Wnt [45,50]. Если Wnt не включается в комплекс с Frizzled/LRP, то происходит деградация  $\beta$ -катенина под действием протеосомы (рис. 1Б) [21].



**Рис. 1.** Wnt /  $\beta$ -катенин сигнальный путь. В отсутствие стимула (Wnt off)  $\beta$ -катенин разрушается протеасомой 26S. В присутствии белковых лигандов Wnt (Wnt on)  $\beta$ -катенин действует как фактор транскрипции (по данным O. Silva-García et al. [45], с изменениями). TCF (*transcription factor*) – фактор транскрипции, LEF (*lymphoid enhancer factor*) – фактор лимфоидного энхансера, APC (*adenomatous polyposis coli*) – ген аденополипоза кишечника, AXIN – белок аксин, СК-1 $\alpha$ - казеинкиназа-1 $\alpha$ , GSK-3 $\beta$ -протеинкиназа GSK-3 $\beta$ , LRP(5/6) – белок, связанный с рецептором липопротеинов низкой плотности 5 и 6 типов, DVL – белок Disheveled, Ub – убиквитинирование белка.

**Fig. 1.** Wnt/ $\beta$ -catenin signaling pathway. In the absence of a stimulus (Wnt off),  $\beta$ -catenin is destroyed by the 26S proteasome. In the presence of Wnt protein ligands (Wnt on),  $\beta$ -catenin acts as a transcription factor (according to O. Silva-García et al. [45], with changes). TCF – transcription factor, LEF – lymphoid enhancer factor, APC – intestinal adenopolyposis gene, AXIN – axin protein, CK-1 $\alpha$  – casein kinase-1 $\alpha$ , GSK-3 $\beta$  – protein kinase GSK-3 $\beta$ , LRP(5/6) – protein, associated with the receptor of low-density lipoproteins of types 5 and 6, DVL – protein Disheveled, Ub – protein ubiquitination.

Таким образом,  $\beta$ -катенин, как ключевой модулятор пролиферации и выживания опухолевых клеток [51], может поддерживать рост опухоли, стимулируя ангиогенез [53], участвуя в регуляции экспрессии VEGF (*vascular endothelial growth factor*) – эндотелиального фактора роста сосудов [43] и гиперэкспрессии COX-2 (*cyclooxygenase-2*) циклооксигеназы, метастазировании опухолей за счет усиления способности клеток к миграции и инвазии [45,48].

При некоторых ЗНО распространены мутации генов, запускающие Wnt-сигнальный путь, в их числе активирующие мутации генов APC (*adenomatous polyposis coli*), аксина,  $\beta$ -катенина, белков TCF и Wtx, RNF43, RSPO, BRAF [15]. Установлена органная специфичность мутаций: мутации *гена APC* характерны для ЗНО толстой кишки [10], желудка [29] и поджелудочной железы [49]; *гена  $\beta$ -катенина* – для печени [30], мягких тканей [31], эндометрия [33], поджелудочной железы [40]; *гена аксина-1* – для печени и желчных протоков [32], *гена Wtx* – для почек и толстой кишки [47], *гена TCF7L2* – для толстой кишки [40]. Нарушение трансляции сигнала в каскаде Wnt/ $\beta$ -катенин-пути могут происходить и через изменение экспрессии белков, связанные с эпигенетическими трансформациями [13]. Секвенирование гена  $\beta$ -катенина CTNNB1 в двух APC-позитивных TCF/ $\beta$ -катенин активированных клеточных линиях РТК, выявило мутации в GSK3 $\beta$ -связывающем сайте  $\beta$ -катенина: делеция Ser45 (линия HCT116) и замена Ser33 на Thr (линия SW48) [44]. В канцерогенезе обе мутации значимы для стабильности  $\beta$ -катенина. Мутации нарушают убиквитинирование белка и его деградацию в протеасомах, приводят к накоплению  $\beta$ -катенина в цитоплазме и ядре клетки [52]. И наоборот, экспрессия APC при РТК часто подавляется, приводя к диссоциации комплекса деградации  $\beta$ -катенина [1].

Так при нарушении контроля Wnt-пути за гомеостазом клеток слизистой оболочки (СО) кишечника возникают условия для онкогенеза. Белки Wnt участвуют в инициации пролиферации медленно делящихся стволовых клеток [17], приводя к образованию пула быстро делящихся кле-

ток-предшественников. По мере продвижения этих клеток к верхней части крипт, активность Wnt-пути затухает, деление клеток прекращается и начинается дифференцировка. Регулятором выступает простагландин E2, APC [39]. В тоже время мутации или конститутивная активность NF- $\kappa$ B, избыточная продукция активных форм кислорода и цитокинов приводят к активации Wnt-механизма [35]. Каждые пять дней клетки слизистой оболочки кишечника обновляются, но не созревают. Верхней части крипт достигают только клетки-предшественники, а не дифференцированные колоноциты, этот механизм лежит в основе формирования полипов [38].

### **Механизмы канцерогенного потенциала *Helicobacter pylori***

Значение *Helicobacter pylori* (*H. pylori*) в желудочном онкогенезе установлено, а роль при РТК только изучается. Наличие антигенов или ДНК бактерии в образцах ткани толстой кишки не означает колонизацию кишечника *H. pylori*. Это может быть опосредованное влияние через особенности микрофлоры кишечника, усиление выработки цитокинов воспаления, гиперсекрецию гастрина.

В желудочном онкогенезе, в отличие от РТК, не участвуют ни мутации APC, ни метилирование APC [54]. Так, например, исследования образцов РЖ показали, что наличие мутации в экзоне 3 гена  $\beta$ -катенина, в норме кодирующего сайты фосфорилирования серин-треонина для GSK3 $\beta$ , защищают  $\beta$ -катенин от деградации. Однако в большинстве образцов РЖ мутации в гене  $\beta$ -катенина обнаружено не было. Предполагается, что при РЖ в активации Wnt/ $\beta$ -катенин сигнального пути задействованы другие факторы.

Бактерия *H. pylori* чрезвычайно гетерогенна по наличию генов и их вариантов с онкогенным потенциалом. Риск развития *H. pylori*-ассоциированных заболеваний, включая РЖ, детерминирован особенностями взаимоотношений между микроорганизмом (специфичность набора факторов вирулентности и патогенности у определенных штаммов бактерии) и макроорганизмом (комплексом эфффекторов, индуцированных *H. pylori* у человека). Патогенному потенциалу бактерии посвящено много работ, но ряд аспектов сохраняет перспективу для научного поиска, поскольку объяснения патогенеза заболевания спорны или не убедительны. В этой связи интересны молекулярные механизмы *H. pylori*-индуцированного онкогенеза.

Макрофаги являются связующим звеном между хроническим воспалением, ассоциированным с *H. pylori* и активацией Wnt/ $\beta$ -катенина [54]. Бактерия рекрутирует макрофаги в СО желудка через хемоаттрактантный белок-1 моноцитов (MCP-1) или Sonic Hedgehog (Shh). Кроме того, макро-

фаги продуцируют TNF $\alpha$  и IL-1 $\beta$ . При раке толстой кишки IL-1 $\beta$  ингибирует активность GSK3 $\beta$ , тем самым защищая  $\beta$ -катенин от деградации. При РЖ активность Wnt/ $\beta$ -катенинового пути модулируется TNF $\alpha$  через передачу сигналов Akt-GSK3 $\beta$  [54].

CagA (*cytotoxin-associated gene A*) является одним из мощных онкогенных белков *H. pylori*. С помощью T4SS (*type 4 secretion system*) – системы секреции 4 типа, CagA транслоцируется в цитозоль, где дестабилизирует комплекс E-кадгерин/ $\beta$ -катенин. Белок CagA взаимодействует с E-кадгерином, нарушает образование комплекса E-кадгерин/ $\beta$ -катенин и высвобождает  $\beta$ -катенин в цитоплазму. Другим эффектом белка CagA является связывание с GSK-3 $\beta$ , подавление фосфорилирующей активности и протеасомной деградации цитоплазматического  $\beta$ -катенина [7]. В результате CagA-индуцированного накопления  $\beta$ -катенина в цитоплазме и ядре увеличивается экспрессия генов-мишеней (с-мус и циклин D1 [7]. CagA индуцирует фосфорилирование с-Met и образованием функционального комплекса с-Met и CD44 [8]. с-Met запускает передачу сигналов PI3K/Akt и вызывает накопление  $\beta$ -катенина. Между с-Met и  $\beta$ -катенином существует положительная обратная связь, которая активируется в канцерогенезе. Активация с-Met-PI3K- $\beta$ -катенинового пути способствует инвазии, пролиферации и снижению апоптотической гибели клеток [54], такой механизм описан в патогенезе РТК.

Существует другой механизм активации EGFR-PI3K/Akt/GSK3 $\beta$ / $\beta$ -катенин через EGFR. Он связан с эффектами вакуолизирующего цитотоксина А (VacA) или OipA, CagE, CagL, секреторного белка *H. pylori* HP0175 и внешнего воспалительного белка А (OipA) [54]. В этом случае Cag A становится антагонистом: инактивирует EGFR путем активации SH2-домена протеинтирозинфосфатазы (SHP-2).

Полиморфизм канцерного потенциала *H. pylori* включает высвобождение экзосом поврежденных клеток, спровоцированное неблагоприятными условиями (гипоксия, вирусная инфекция, ацидоз). Онкогенные составляющие экзосом могут влиять на экспрессию, транскрипцию и трансляцию генов реципиентных клеток, приобретая злокачественные характеристики, способствуя так называемому иммунному побегу. Экспрессивная пролиферация и мутация клеток РЖ генерирует различные типы антигенов. Клетки врожденного иммунитета способны отслеживать, распознавать, устранять и предотвращать злокачественную трансформацию. Однако клетки РЖ сформировали механизмы избегания иммунного ответа: снижение экспрессии МНС I или МНС II, подавление антигенов, связанных с раком и молекул адгезии. Микроокружение опухоли создает иммуно-

супрессивную среду, ослабляет ответ иммунных эффекторных клеток и рекрутирует иммуносупрессивные клетки, препятствуя распознаванию злокачественных клеток иммунными.

### **Диверсификация механизмов, активирующих Wnt / $\beta$ -катенин сигнальный путь**

Поскольку гены Wnt задействованы в регуляции и нормальных и патологических процессов, диверсификация, как мера разнообразия в совокупности, не ориентирована на отбор молекулярных изменений только для возникновения ЗНО.

Экспрессия RUNX3 с функцией опухолевого супрессора в эпителии кишечника является естественной, но ген часто удаляется или транскрипционно замалчивается при раке. Белок Runx3 подавляет Wnt/ $\beta$ -катенин сигнальный путь за счет образования сложного комплекса:  $\beta$ -катенин / TCF4 /Runx3. Однако при РЖ происходит потеря Runx3 и экспрессии генов-мишеней Wnt /  $\beta$ -катенинового пути. Белок CagA *H. pylori* связывается с Runx3, используя специфическое распознавание мотива PY Runx3, а с помощью WW-домена вызывает убиквитинизацию и деградацию Runx3 [22]. Кроме того, CagA *H. pylori* снижает экспрессию мРНК Runx3 за счет ингибирования активности промотора Runx3.

Экспрессия TFF1 (*trefoil factor 1*) в СО желудка также не аномальна, он необходим для дифференцировки желудочных желез; взаимодействуя с муцинами, участвует в организации защитного слизистого слоя желудка, функционирует, как опухолевый супрессор [54]. TFF1 ингибирует фосфорилирование Akt и GSK3 $\beta$  посредством протеинфосфатазы 2A (PP2A), что влечет снижение ядерной транслокации  $\beta$ -катенина и активности транскрипции TCF [19]. Трансформация эпителиальных клеток приводит к снижению регуляции экспрессии TFF1 в желудке. У пациентов с РЖ в результате мутации гена фиксируют подавление активности TFF1 [54] и гиперметилирование промотора [19], индуцированное *H. pylori*.

*H. pylori* активирует экспрессию гена TRPC6 через Wnt/ $\beta$ -катенин и индуцирует Ca<sup>2+</sup>-зависимую миграцию и инвазию опухолевых клеток при РЖ. У *H. pylori*-позитивных пациентов с РЖ уровень TRPC6 в образцах опухолевых клеток выше, чем у *H. pylori*-негативных [28]. Для функционирования эпителия требуется мощное кровоснабжение, обеспечивающее трофику и восстановление эпителиоцитов, факторы роста и иммунную защиту, а лимит микроциркуляции вызывает каскад патологических изменений. Так при онкогенезе через многоступенчатый процесс формируется

сосудистая сеть. Механизм *H. pylori*-ассоциированного Wnt/ $\beta$ -катенин-зависимого ангиогенеза до конца не расшифрован. Установлено, что бактерия повышает экспрессию проангиогенных факторов в опухолевых клетках при РЖ, а экспрессия COX-2, VEGF и  $\beta$ -катенина статистически значимо выше. Индуцируя продукцию VEGF, *H. pylori* активирует p38 MAPK-COX-2-EP2/EP4 [37] сигнальный путь в опухолевых клетках при РЖ, кроме того, стимулирует экспрессию гена VEGF через MEK/ERK-зависимую активацию Sp1 и Sp3.

Белки Nanog и Oct4 являются генами-мишенями Wnt /  $\beta$ -катенинового пути. Предполагается, что они регулируют самообновление и плюрипотентность CSC. Кроме того, Nanog и Oct4, участвуют в продвижении ЭМТ (*epithelial mesenchymal transition*). В процессе трансформации эпителиальных клеток в мезенхимальные, изменения происходят на молекулярном уровне клетки и в клеточной морфологии с потерей полярности, что вызывает повышенный потенциал миграции [27]. Усиление экспрессии белков Nanog и Oct4 характерно в присутствии CagA *H. pylori* (рис. 4). У пациентов с РЖ установлена связь высокой экспрессии Nanog и Oct4 с пессимистичным прогнозом заболевания [27].

Показано, что снижение микроРНК miR101, miR-124a, miR-203, miR-210 и miR-320 активирует Wnt /  $\beta$ -катенин сигнальный путь в разных клетках или тканях [41]. Подавление активности miR ингибируется при участии CagA или гиперметилировании, ассоциированного с *H. pylori*. В то же время miR-21, miR-155 и miR-222 напротив активируется при *H. pylori* [43,49]. Эти miR стимулируют путь Wnt/ $\beta$ -катенин и функционируют как онкогены или опухолевые промоторы.

### Заключение

Панорама канцерогенеза расширяется за счет данных молекулярно-генетических исследований, направленных на выявление биологических маркёров, учёт и контроль которых позволит оптимизировать расходы на профилактику и лечение. Достоверное представление о молекулярных механизмах канцерогенеза – это предпосылка для управления процессом снижения популяционных и индивидуальных рисков преждевременной смерти от ЗНО желудка и толстой кишки.

**Источник финансирования.** Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках государственного задания № FZEG-2020-0060 Минобрнауки России в сфере научной деятельности темы «Алгоритмы мо-

лекулярно-генетической диагностики злокачественных новообразований и подходы к их таргетной терапии с применением клеточных и генетических технологий».

**Funding.** This work was financially supported by state task No FZEG-2020-0060 of the Russian Ministry of Science in the scientific research on the topic «Algorithms for molecular-genetic diagnosis of malignant neoplasms and approaches to their targeted therapy using cellular and genetic technologies».

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Conflict of interests.** The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

#### *Список литературы*

1.  $\beta$ -Катенин: структура, функции и роль в опухолевой трансформации эпителиальных клеток / Исаева А.В., Зима А.П., Шабалова И.П., Рязанцева Н.В., Васильева О.А., Касоян К.Т., Саприна Т.В., Лагыпова В.Н., Берёзкина И.С., Новицкий В.В. // Вестник РАМН. 2015. Т. 70, № 4. С. 475–483.
2. Активация липопероксидации как ведущий патогенетический фактор в развитии типовых патологических процессов и заболеваний различной этиологии / Глыбочко П.В., Попков В.М., Чеснокова Н.П., Ледванов М.Ю., Барсуков В.Ю., Понукалина Е.В., Плохов В. Н., Моррисон В.В., Морозова О.Л., Невважай Т.Н., Островский Н.В., Афанасьева Г.А., Полутова Н.В., Шелехова Т.В., Жевак Т.Н., Бизенкова М.Н., Вихрев Д.В., Селезнева Т.Д., Зяблов Е.В., Кутырев В. В., Булкина Н.В., Карпенко И.Н., Капустина Н.Ю., Мареев О. В., Кузнецов В.И. Саратов: Издательский Дом «Академия Естествознания», 2012. С. 120-125.
3. Зибиров Р.Ф., Мозеров С.А. Характеристика клеточного микроокружения опухоли // Онкология. Журнал им. П.А. Герцена. 2018.Т.7, №2. С.67-72. <https://doi.org/10.17116/onkolog20187267-72>
4. Иммунология: формирование иммунного ответа как ведущего фактора противоопухолевой защиты/ Саранцева К.А., Лактионова Л.В., Реутова Е.В., Черненко П.А., Бредер В.В. // Злокачественные опухоли. 2016. № 2. С.5-14. <https://doi.org/10.18027/2224-5057-2016-2-5-14>
5. Канонический сигнальный путь Wnt/ $\beta$ -катенин: от истории открытия до клинического применения / Гребенникова Т.А., Белая Ж.Е., Рожинская Л.Я., Мельниченко Г.А. // Терапевтический архив. 2016. №88(10). С. 74-81. <https://doi.org/10.17116/terarkh201688674-81>

6. Клинико-морфологическая характеристика гастроинтестинальных стромальных опухолей / Халиков Д.Д., Ахметзянов Ф.Ш., Петров С.В. // Архив патологии. 2017.Т.79, №4. С.48-55. <https://doi.org/10.17116/patol201779448-55>
7. Механизмы взаимодействия *Helicobacter pylori* с эпителием слизистой оболочки желудка. I. Факторы патогенности, способствующие успешной колонизации / Поздеев О. К., Поздеева А.О., Валеева Ю.В., Гуляев П.Е. // Инфекция и иммунитет. 2018.Т.8. №3. С. 273-283. <https://doi.org/10.15789/2220-7619-2018-3-273-283>
8. Механизмы взаимодействия *Helicobacter pylori* с эпителием слизистой оболочки желудка. II. Реакция эпителия слизистой оболочки желудка в ответ на колонизацию и персистенцию *H. pylori* / Поздеев О.К., Поздеева А.О., Валеева Ю.В., Гуляев П.Е., Савинова А.Н. // Инфекция и иммунитет. 2019. Т.9, №2. С. 253-261. <https://doi.org/10.15789/2220-7619-2019-2-253-261>
9. Микроокружение опухоли: формирование иммунного профиля / Олейник Е.К., Шибаев М.И., Игнатъев К.С., Олейник В.М., Жулай Г.А. // Медицинская иммунология. 2020. Т. 22, №2. С.207-220. <https://doi.org/10.15789/1563-0625-TMT-1909>
10. Молекулярно-генетические аспекты канцерогенеза в толстой кишке/ Мосолова М. Ю., Нестеренко З. А., Казачкина Е. О., Агишева К. В. // Молодой ученый. 2016. Т.27, №131. С. 258-261. <https://moluch.ru/archive/131/36376/>
11. Немцова М.В., Кушлинский Н.Е. Молекулярно-биологические маркеры в практической онкологии // Лабораторная служба. 2014. Т.3, №1. С.14-22.
12. Первушин В.В., Горпинич И.В., Савончик Г.С. Мутагенез: разновидности и эволюционная роль // Международный студенческий научный вестник. 2022. №.1. С.61. <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=20860>
13. Татарский В.В. Сигнальный путь Wnt: перспективы фармакологического регулирования //Успехи молекулярной онкологии. 2016. Т.3, №1. С. 28-31. <https://doi.org/10.17650/2313-805X-2016-3-1-28-31>.
14. Тюкавин А.И., Сучков С.В. Опухолевый рост – современный взгляд на патогенез и фармакотерапию (лекция)// Формулы Фармации. 2021. Т. 3, №2. С. 86-96. <https://doi.org/10.17816/phf65284>
15. Удаление метастазов при метастатическом раке толстой кишки с мутацией в гене BRAF — результаты много- центрового ретроспективного исследования / Федянин М.Ю., Эльснукаева Х.Х., Демидова И.А., Строяковский Д.Л., Шелыгин Ю.А., Цуканов А.С., Сергеев Ю.С., Пономаренко А.А., Панина М.В., Шубин В.П., Моисеенко Ф.В., Карпенко Е.Ю., Болотина Л.В., Кудрявцева А.В., Филипенко М.Л., Воскобоев М.Е., Оскорбин И.П., Влади-

- мирова Л.Ю., Кит О.И., Строганова А.М., Дранко С.Л., Сендерович А.И., Трякин А.А., Тюляндин С.А. // Злокачественные опухоли. 2021. Т. 11, №3. С.5-14. <https://doi.org/10.18027/2224-5057-2021-11-3-5-14>
16. Целесообразность изучения опухолевого ангиогенеза, как прогностического фактора развития рака / Майбородин И. В., Красильников С. Э., Козьяков А. Е. Бабаянц Е.В., Кулиджанян А.П. // Новости хирургии. 2015. Т.23, №3. С. 339-347. <https://doi.org/10.18484/2305-0047.2015.3.339>
  17. Штыгашева О.В., Агеева Е.С., Гузарь Я.Р. Анамнестические предикторы колоректального рака // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2019. № 2. С.50-54. <https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-162-2-50-54>
  18. Эпидемиология рака в мире/ Макимбетов Э. К., Салихар Р. И., Туманбаев А. М., Токтналиева А.Н., Керимов А.Д. //Современные проблемы науки и образования. 2020. № 2. С. 168. <https://doi.org/10.17513/spno.29718>
  19. Activation of  $\beta$ -catenin signaling by TFF1 loss promotes cell proliferation and gastric tumorigenesis / Soutto M., Peng D., Katsha A., Chen Z., Piazuolo M.B., Washington M.K., Belkhir A., Correa P., El-Rifai W. // Gut, 2015, vol. 64, no.7, pp.1028-39. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2014-307191>
  20. Autophagy and the Wnt signaling pathway: A focus on Wnt/ $\beta$ -catenin signaling / Lorzadeh S., Kohan L., Ghavami S., Azarpira N. // Biochim. Biophys. Acta Mol. Cell Res., 2021, vol. 1868, no. 3, p. 118926. <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2020.118926>
  21. Beta catenin is degraded by both caspase-3 and proteasomal activity during resveratrol-induced apoptosis in HeLa cells in a GSK3 $\beta$ -independent manner / Ray M., Rai N., Jana K., Ghatak S., Basu A., Mustafi S.B., Raha S. // Indian J. Biochem. Biophys., 2015, vol. 52, no. 1, pp.7-13.
  22. CD44 plays a functional role in Helicobacter pylori-induced epithelial cell proliferation / Bertaux-Skeirik N., Feng R., Schumacher M.A., Li J., Mahe M.M., Engevik A.C., Javier J.E., Peek R.M. Jr., Ottemann K., Orian-Rousseau V., Boivin G.P., Helmuth M.A., Zavros Y. // PLoS Pathog., 2015, vol. 11, no. 2, p.e1004663. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1004663>
  23. Differential Expression of Long Noncoding RNA HOTAIR in Intestinal Metaplasia and Gastric Cancer / Petkevicius V., Thon C., Steponaitiene R., Skieceviciene J., Janciauskas D., Jechorek D., Malfertheiner P., Kupcinskas J., Link A. // Clin. Transl. Gastroenterol., 2022, vol. 13, no. 5, p.e00483. <https://doi.org/10.14309/ctg.0000000000000483>
  24. Differential expression of microRNAs in preneoplastic gastric mucosa / Link A., Schirrmeyer W., Langner C., Varbanova M., Bornschein J., Wex T., Malfertheiner P. // Sci. Rep., 2015, vol. 5, p. 8270. <https://doi.org/10.1038/srep08270>

25. Hallmarks of Cancers: Primary Antibody Deficiency versus Other Inborn Errors of Immunity/Abolhassani H., Wang Y., Hammarström L., Pan-Hammarström // Q. Front. Immunol., 2021, vol. 12, p. 720025. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.720025>
26. Hanahan D., Weinberg R.A. Hallmarks of cancer: the next generation// Cell, 2011, vol. 144, no. 5, pp. 646-674. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2011.02.013>
27. *Helicobacter pylori* upregulates Nanog and Oct4 via Wnt/ $\beta$ -catenin signaling pathway to promote cancer stem cell-like properties in human gastric cancer / Yong X., Tang B., Xiao Y.-F., Xie R., Qin Y., Luo G., Hu Ch.-J., Dong H., Yang Sh.-M. // Cancer Lett., 2016, vol. 374, no. 2, pp. 292-303. <https://doi.org/10.1016/j.canlet.2016.02.032>
28. *Helicobacter pylori* upregulates TRPC6 via Wnt/ $\beta$ -catenin signaling to promote gastric cancer migration and invasion / Song Y., Liu G., Liu S., Chen R., Wang N., Liu Z., Zhang X., Xiao Z., Liu L. // Onco Targets Ther., 2019, vol. 12, pp. 5269-5279. <https://doi.org/10.2147/OTT.S201025>
29. Human gastric cancer modelling using organoids / Seidlitz T., Merker S.R., Rothe A., Zakrzewski .F, von Neubeck C., Grützmann K., Sommer U., Schweitzer C., Schölch S., Uhlemann H., Gaebler A.M., Werner K., Krause M., Baretton G.B., Welsch T., Koo B.K., Aust D.E., Klink B., Weitz J., Stange D.E. // Gut, 2019, vol. 68, no. 2, pp. 207-217. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2017-314549>
30. Integrative transcriptome analysis reveals common molecular subclasses of human hepatocellular carcinoma/ Hoshida Y., Nijman S.M., Kobayashi M., Chan J.A., Brunet J.P., Chiang D.Y., Villanueva A., Newell P., Ikeda K., Hashimoto M., Watanabe G., Gabriel S., Friedman S.L., Kumada H., Llovet J.M., Golub T.R. // Cancer Res., 2009, vol. 69, no. 18, pp. 7385-7392. <https://doi.org/10.1158/0008-5472>
31. Intranodal palisaded myofibroblastoma: another mesenchymal neoplasm with CTNNB1 ( $\beta$ -catenin gene) mutations: clinicopathologic, immunohistochemical, and molecular genetic study of 18 cases / Laskin W.B., Lasota J.P., Fetsch J.F., Feisia-kolabek A., Wang Z.F., Miettinen M. // Am. J. Surg. Pathol., 2015, vol. 39, no. 2, pp. 197-205. <https://doi.org/10.1097/PAS.0000000000000299>
32. Krutsenko Y., Singhi A.D., Monga S.P.  $\beta$ -Catenin Activation in Hepatocellular Cancer: Implications in Biology and Therapy // Cancers (Basel), 2021, vol. 13, no. 8, p.1830. <https://doi.org/10.3390/cancers13081830>
33. Ledinek Ž., Sobočan M., Knez J. The Role of CTNNB1 in Endometrial Cancer// Dis. Markers, 2022, vol.2022, p.1442441. <https://doi.org/10.1155/2022/1442441>
34. Lien W.-H., Fuchs E. Wnt some lose some: transcriptional governance of stem cells by Wnt/ $\beta$ -catenin signaling // Genes and Dev., 2014, vol. 28, pp. 1517–1532. <https://doi.org/10.1101/gad.244772.114>

35. Ma B., Hottiger M.O. Crosstalk between Wnt/ $\beta$ -Catenin and NF- $\kappa$ B Signaling Pathway during Inflammation // *Front. Immunol.*, 2016, vol. 7, p. 378. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2016.00378>
36. MafB, WDR77, and  $\beta$ -catenin interact with each other and have similar genome association profiles/ He L., Gao M, Pratt H, Weng Z, Struhl K.//*PLoS One*, 2022, vol. 17, noю 4, p. e0264799. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264799>
37. MAP Kinases Pathways in Gastric Cancer / Magnelli L., Schiavone N., Staderini F., Biagioni A., Papucci L.// *Int. J. Mol. Sci.*, 2020, vol. 21, no. 8, p. 2893. <https://doi.org/10.3390/ijms21082893>
38. Mei X, Gu M, Li M. Plasticity of Paneth cells and their ability to regulate intestinal stem cells // *Stem. Cell Res. Ther.*, 2020, vol. 11, no. 1, p. 349. <https://doi.org/10.1186/s13287-020-01857-7>
39. Microarray analysis of gene expression in the cyclooxygenase knockout mice - a connection to autism spectrum disorder / Rai-Bhogal R., Ahmad E., Li H., Crawford D.A. // *Eur. J. Neurosci.*, 2018, vol. 47, no. 6, pp. 750-766. <https://doi.org/10.1111/ejn.13781>
40. Multiomics analysis of tumor mutational burden across cancer types/ Li L., Bai L., Lin H., Dong L., Zhang R., Cheng X., Liu Z., Ouyang Y., Ding K. // *Comput. Struct. Biotechnol. J.*, 2021, vol. 19, pp. 5637- 5646. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2021.10.013>
41. Performance of DNA Methylation on the Molecular Pathogenesis of *Helicobacter pylori* in Gastric Cancer; targeted therapy approach / Vahidi S., Mirzajani E., Norollahi S.E., Aziminezhad M., Samadani A.A. // *Journal of pharmacopuncture*, 2022, vol. 25, no. 2, pp. 88-100. <https://doi.org/10.3831/KPI.2022.25.2>
42. Pope C.N., Liu J. An Introduction to Interdisciplinary Toxicology: From Molecules to Man.//*Academic Press*, 2020, pp. 97-110. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813602-7.00008-9>
43. Prognostic Significance of Wnt1, Wnt2, E-Cadherin, and  $\beta$ -catenin Expression in Operable Non-small Cell Lung Cancer / Wrona A., Sejda A., Dziadziuszko R., Jassem J. // *J. Histochem. Cytochem.*, 2021, vol. 69, no. 11, pp. 711-722. <https://doi.org/10.1369/00221554211048550>
44. Screening and computational analysis of colorectal associated non-synonymous polymorphism in CTNNB1 gene in Pakistani population / S., Bibi N., Dar J.A., Afsar T., Almajwal A., Parveen Z., Jahan S. // *BMC Med. Genet.*, 2019, vol. 20, no. 1, p. 171. <https://doi.org/10.1186/s12881-019-0911-y>
45. Silva-García O., Valdez-Alarcón J.J., Baizabal-Aguirre V.M. The Wnt/ $\beta$ -catenin signaling pathway controls the inflammatory response in infections caused by pathogenic bacteria // *Mediators Inflamm.*, 2014, vol. 2014, p. 310183. <https://doi.org/10.1155/2014/310183>

46. Solid pseudopapillary neoplasm (SPN) of the testis: Comprehensive mutational analysis of 6 testicular and 8 pancreatic SPNs / K., Michal M., Sedivcova M., Kazakov D.V., Bacchi C., Antic T., Miesbauerova M., Hes O., Michal M. // *Ann. Diagn. Pathol.*, 2018, vol. 35, pp. 42-47. <https://doi.org/10.1016/j.ann-diagnpath.2018.04.003>
47. The General Expression Analysis of WTX Gene in Normal and Cancer Tissues / Zhang Y.Y., Wang Q.M., Niu H.L., Liu X., Zhang Q.L. // *Pathol. Oncol. Res.*, 2017, vol. 23, no. 2, pp. 439-446. <https://doi.org/10.1007/s12253-016-0168-0>
48. The involvement of noncanonical Wnt signaling in cancers / Chen Y., Chen Zh., Tang Y., Xiao Q. // *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 2021, vol. 133, pp.1–8. <https://doi.org/1016/j.biopha.2020.110946>
49. The molecular characteristics of high-grade gastroenteropancreatic neuroendocrine neoplasms / Venizelos A., Elvebakken H., Perren A., Nikolaienko O., Deng W., Lothe I.M.B., Couvelard A., Hjortland G.O., Sundlöv A., Svensson J., Garresori H., Kersten C., Hofslie E., Detlefsen S., Krogh M., Sorbye H., Knappskog S. // *Endocr. Relat. Cancer*, 2021, vol. 29, no. 1, pp. 1-14. <https://doi.org/10.1530/ERC-21-0152>
50. WNT Signaling in Disease/ Ng L.F., Kaur P., Bunnag N., Suresh J., Sung I. Ch. H., Tan Q.H., Gruber J., Tolwinski N.S. // *Cells*, 2019, vol. 8, p. 826. <https://doi.org/10.3390/cells8080826>
51. Wnt/ $\beta$ -catenin signaling: functional, biological mechanisms, and therapeutic opportunities/ Liu J., Xiao Q., Xiao J., Niu Ch., Li Y., Zhou Zh., Shu G., Yin G. // *Signal Transduction and Target Therapy*, 2022, vol. 7, p. 3. <https://doi.org/10.1038/s41392-021-00762-6>
52. Wnt/ $\beta$ -catenin signaling regulates Yes-associated protein (YAP) gene expression in colorectal carcinoma cells /Konsavage W.M. Jr., Kycler S.L., Rennoll S.A., Jin G., Yochum G.S. // *J. Biol. Chem.*, 2012, vol. 287, no. 15, pp. 11730-11739. <https://doi.org/10.1074/jbc.M111.327767>
53. Wnt/ $\beta$ -catenin signalling in ovarian cancer: Insights into its hyperactivation and function in tumorigenesis/ Nguyen V.H.L., Hough R., Bernaudo S., Peng C. // *J. Ovarian Res.*, 2019, vol. 12, no. 1, p. 122. <https://doi.org/10.1186/s13048-019-0596-z>
54. Wnt/ $\beta$ -catenin, an oncogenic pathway targeted by *H. pylori* in gastric carcinogenesis / Song X., Xin N., Wang W, Zhao C. // *Oncotarget*, 2015, vol. 6, no. 34, pp.35579-88. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.5758>

### References

1. Isaeva A.V., Zima A.P., Shabalova I.P., Rjazanceva N.V., Vasil'eva O.A., Kasojan K.T., Saprina T.V., Latypova V.N., Berjozkina I.S., Novickij V.V.  $\beta$ -Katenin: struktura, funkcii i rol' v opuholevoj transformacii jepitelial'nyh kletok [ $\beta$ -Cat-

- enin: structure, functions and role in tumor transformation of epithelial cells]. *Vestnik RAMN* [Herald of RAMS], 2015, vol. 70, no.4, pp. 475–483.
- Glybochko P.V., Popkov V.M., Chesnokova N.P., Ledvanov M.Yu., Barsukov V.Yu., Ponukalina E.V., Plokhov V.N., Morrison V.V., Morozova O.L., Nevvazhai T.N., Ostrovskii N.V., Afanas'eva G.A., Polutova N.V., Shelekhova T.V., Zhevak T.N., Bizenkova M.N., Vikhrev D.V., Selezneva T.D., Zyablov E.V., Kutyrev V.V., Bulkina N.V., Karpenko I.N., Kapustina N.Yu., Mareev O. V., Kuznetsov V.I. *Aktivatsiya lipoperoksidatsii kak vedushchii patogeneticheskii faktor v razvitii tipovykh patologicheskikh protsessov i zabolevanii razlichnoi etiologii* [Activation of lipoperoxidation as a leading pathogenetic factor in the development of typical pathological processes and diseases of various etiologies]. Saratov: Izdatel'skii Dom "Akademiya Estestvoznaniya", 2012, pp. 120-125.
  - Zibirov RF, Mozerov SA. Kharakteristika kletochnogo mikrookruzheniya opukholi [Characterization of the tumor cell microenvironment]. *Onkologiya. Zhurnal im. P.A. Gertsena* [P.A. Herzen Journal of Oncology], 2018, vol. 7, no. 2, pp. 67-72. <https://doi.org/10.17116/onkolog20187267-72>
  - Sarantseva K.A., Laktionova L.V., Reutova E.V., Chernenko P.A., Breder V.V. Immunologiya: formirovanie immunnogo otveta kak vedushchego faktora protivopukholevoy zashchity [Immunology: immune response as leading protection factor against cancer]. *Zlokachestvennye opukholi* [Malignant tumors], 2016, vol. 2, pp. 5-14. <https://doi.org/10.18027/2224-5057-2016-2-5-14>
  - Grebennikova T.A., Belaia Zh.E., Rozhinskaia L.Ia., Melnichenko G.A. Kanonicheskii signal'nyy put' Wnt/ $\beta$ -katenin: ot istorii otkrytiya do klinicheskogo primeneniya [The canonical Wnt/ $\beta$ -catenin pathway: From the history of its discovery to clinical application]. *Terapevticheskii Arkhiv* [Therapeutic Archive], 2016, vol. 88, no. 10, pp. 74-81 <https://doi.org/10.17116/terarkh201688674-81>
  - Khalikov D.D., Akhmetzyanov F.Sh., Petrov S.V. Kliniko-morfologicheskaya kharakteristika gastrointestinal'nykh stromal'nykh opukholey [Clinical and morphological characteristics of gastrointestinal stromal tumors]. *Arkhiv patologii* [Archive of Pathology], 2017, vol. 79, no. 4, pp. 48-55. <https://doi.org/10.17116/patol201779448-55>
  - Pozdeev O. K., Pozdeeva A.O., Valeeva Yu.V., Gulyaev P.E. Mekhanizmy vzaimodeystviya *Helicobacter pylori* c epiteliem slizistoy obolochki zheludka. I. Faktory patogennosti, sposobstvuyushchie uspezhnoy kolonizatsii [Mechanisms of *Helicobacter pylori* interaction with the epithelium of the gastric mucosa. I. Pathogenic factors contributing to successful colonization]. *Russian Journal of Infection and Immunity*, 2018, vol. 8, no. 3, pp. 273-283. <https://doi.org/10.15789/2220-7619-2018-3-273-283>

8. Pozdeev O. K., Pozdeeva A.O., Valeeva Yu.V., Gulyaev P.E. Mekhanizmy vzaimodeystviya *Helicobacter pylori* s epiteliem slizistoy obolochki zheludka. II. Reaktsiya epiteliya slizistoy obolochki zheludka v otvet na kolonizatsiyu i persistirovanie *H. pylori* [Mechanisms of *Helicobacter pylori* interaction with the epithelium of the gastric mucosa. II. The reaction of the epithelium of the gastric mucosa in response to colonization and persistence of *H. pylori*]. *Russian Journal of Infection and Immunity*, 2019, vol. 9, no. 2, pp. 253-261. <https://doi.org/10.15789/2220-7619-2019-2-253-261>
9. Oleinik E.K., Shibaev M.I., Ignatiev K.S., Oleinik V.M., Zhulai G.A. Mikrookruzhenie opukholi: formirovanie immunnogo profilya [Tumor microenvironment: the formation of the immune profile]. *Medical Immunology (Russia)*, 2020, vol. 22, no. 2, pp. 207-220. <https://doi.org/10.15789/1563-0625-TMT-1909>
10. Mosolova M. Yu., Nesterenko Z. A., Kazachkina E. O., Agisheva K. V. Molekulyarno-geneticheskie aspekty kantserogeneza v tolstoy kishke [Molecular genetic aspects of carcinogenesis in the colon]. *Molodoi uchenyi* [A young scientist.], 2016, vol. 27, no. 131, pp. 258-261. <https://moluch.ru/archive/131/36376/>
11. Nemtsova M.V., Kushlinskii N.E. Molekulyarno-biologicheskie markery v prakticheskoy onkologii [Molecular Biological Markers in Oncological Practice]. *Laboratornaya sluzhba* [Laboratory Service], 2014, vol. 3, no.1, pp.14-22.
12. Pervushin V.V., Gorpnich I.V., Savonchik G.S. Mutagenez: raznovidnosti i evolyutsionnaya rol' [Mutagenesis: varieties and evolutionary role]. *Mezhdunarodnyi studencheskii nauchnyi vestnik*. [International Student Scientific Bulletin], 2022, vol. 1, p. 61. <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=20860>
13. Tatarskij V.V. Signal'nyy put' Wnt: perspektivy farmakologicheskogo regulirovaniya [Wnt signaling pathway: prospects for pharmacological regulation]. *Uspekhi molekulyarnoy onkologii* [Advances in molecular oncology], 2016, vol. 3, no. 1, pp. 28-31. <https://doi.org/10.17650/2313-805X-2016-3-1-28-31>.
14. Tyukavin A.I., Suchkov S.V. Opukholevyy rost – sovremennyy vzglyad na patogenez i farmakoterapiyu (lektsiya) [Tumor growth – a modern view of pathogenesis and pharmacotherapy (lecture)]. *Formuly Farmatsii* [Pharmacy Formulas], 2021, vol. 3, no. 2, pp. 86-96. <https://doi.org/10.17816/phf65284>
15. Fedyanin M.Yu., Elsnukaeva H.H., Demidova I.A., Stroyakovskii D. L., Shelygin Yu.A., Tsukanov A.S., Sergeev Yu.S., Ponomarenko A.A., Panina M.V., Shubin V.P., Moiseenko F.V., Karpenko E.Yu., Bolotina L.V., Kudriavtseva A.V., Filipenko M.L., Voskoboev M.E., Oskorbin I.P., Vladimirova L.Yu., Kit O. ., Stroganova A.M., Dranko S. ., Senderovich A. ., Tryakin A.A., Tjulandin S. . Udalenie metastazov pri metastaticheskom rake tolstoy kishki s mutatsiyey v gene BRAF – rezul'taty mnogo- tsentrovogo retrospektivnogo issledovaniya

- [Resection of metastases in patients with BRAF mutated metastatic colon cancer: results of a multicenter retrospective study]. *Zlokachestvennyye opukholi* [Malignant tumors], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 5-14. <https://doi.org/10.18027/2224-5057-2021-11-3-5-14>
16. Maiborodin I. V., Krasil'nikov S. E., Kozyakov A. E., Babayants E.V., Kulidzhanyan A.P. Tselesoobraznost' izucheniya opukholevogo angiogeneza, kak prognosticheskogo faktora razvitiya raka [The Feasibility of Tumor-Related Angiogenesis Study as a Prognostic Factor for Cancer Development]. *Novosti Khirurgii* [Surgery News], 2015, vol. 23, no. 3, pp. 339-347. <https://doi.org/10.18484/2305-0047.2015.3.339>.
  17. Shtygasheva O.V., Ageeva E.S., Guzar Y.R. Anamnesticheskie prediktory kolorektal'nogo raka [Anamnestic predictors of colorectal cancer]. *Ekspiremental'naya i klinicheskaya gastroenterologiya* [Experimental and Clinical Gastroenterology], 2019, vol. 2, pp. 50-54. <https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-162-2-50-54>
  18. Makimbetov E. K., Salikhar R. I., Tumanbaev A. M., Toktanalieva A.N., Kerimov A.D. Epidemiologiya raka v mire [Cancer Epidemiology in the world]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], 2020, vol. 2, pp. 168. <https://doi.org/10.17513/spno.29718>
  19. Activation of  $\beta$ -catenin signaling by TFF1 loss promotes cell proliferation and gastric tumorigenesis / Soutto M., Peng D., Katsha A., Chen Z., Piazuelo M.B., Washington M.K., Belkhir A., Correa P., El-Rifai W. *Gut*, 2015, vol. 64, no. 7, pp. 1028-39. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2014-307191>
  20. Autophagy and the Wnt signaling pathway: A focus on Wnt/ $\beta$ -catenin signaling. Lorzadeh S., Kohan L., Ghavami S., Azarpira N. *Biochim. Biophys. Acta Mol. Cell Res.*, 2021, vol. 1868, no. 3, p. 118926. <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2020.118926>.
  21. Beta catenin is degraded by both caspase-3 and proteasomal activity during resveratrol-induced apoptosis in HeLa cells in a GSK3 $\beta$ -independent manner. Ray M., Rai N., Jana K., Ghatak S., Basu A., Mustafi S.B., Raha S. *Indian J. Biochem. Biophys.*, 2015, vol. 52, no. 1, pp. 7-13.
  22. CD44 plays a functional role in Helicobacter pylori-induced epithelial cell proliferation. Bertaux-Skeirik N., Feng R., Schumacher M.A., Li J., Mahe M.M., Engevik A.C., Javier J.E., Peek R.M. Jr., Ottemann K., Orian-Rousseau V., Boivin G.P., Helmrath M.A., Zavros Y. *PLoS Pathog.*, 2015, vol. 11, no. 2, p. e1004663. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1004663>
  23. Differential Expression of Long Noncoding RNA HOTAIR in Intestinal Metaplasia and Gastric Cancer. Petkevicius V., Thon C., Steponaitiene R., Skieceviciene J., Janciauskas D., Jechorek D., Malfertheiner P., Kupcinskas J., Link

- A. *Clin. Transl. Gastroenterol.*, 2022, vol. 13, no. 5, p. e00483. <https://doi.org/10.14309/ctg.0000000000000483>
24. Differential expression of microRNAs in preneoplastic gastric mucosa. Link A., Schirrmeister W., Langner C., Varbanova M., Bornschein J., Wex T., Malfertheiner P. *Sci. Rep.*, 2015, vol. 5, p. 8270. <https://doi.org/10.1038/srep08270>
  25. Hallmarks of Cancers: Primary Antibody Deficiency versus Other Inborn Errors of Immunity. Abolhassani H., Wang Y., Hammarström L., Pan-Hammarström. *Q. Front. Immunol.*, 2021, vol. 12, p. 720025. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.720025>
  26. Hanahan D., Weinberg R.A. Hallmarks of cancer: the next generation. *Cell*, 2011, vol. 144, no. 5, pp. 646-674. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2011.02.013>
  27. *Helicobacter pylori* upregulates Nanog and Oct4 via Wnt/ $\beta$ -catenin signaling pathway to promote cancer stem cell-like properties in human gastric cancer. Yong X., Tang B., Xiao Y.-F., Xie R., Qin Y., Luo G., Hu Ch.-J., Dong H., Yang Sh.-M. *Cancer Lett.*, 2016, vol. 374, no. 2, pp. 292-303. <https://doi.org/10.1016/j.canlet.2016.02.032>
  28. *Helicobacter pylori* upregulates TRPC6 via Wnt/ $\beta$ -catenin signaling to promote gastric cancer migration and invasion. Song Y., Liu G., Liu S., Chen R., Wang N., Liu Z., Zhang X., Xiao Z., Liu L. *Onco Targets Ther.*, 2019, vol. 12, pp. 5269-5279. <https://doi.org/10.2147/OTT.S201025>
  29. Human gastric cancer modelling using organoids. Seidlitz T., Merker S.R., Rothe A., Zakrzewski F., von Neubeck C., Grützmann K., Sommer U., Schweitzer C., Schölch S., Uhlemann H., Gaebler A.M., Werner K., Krause M., Baretton G.B., Welsch T., Koo B.K., Aust D.E., Klink B., Weitz J., Stange D.E. *Gut*, 2019, vol. 68, no. 2, pp. 207-217. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2017-314549>
  30. Integrative transcriptome analysis reveals common molecular subclasses of human hepatocellular carcinoma. Hoshida Y., Nijman S.M., Kobayashi M., Chan J.A., Brunet J.P., Chiang D.Y., Villanueva A., Newell P., Ikeda K., Hashimoto M., Watanabe G., Gabriel S., Friedman S.L., Kumada H., Llovet J.M., Golub T.R. *Cancer Res.*, 2009, vol. 69, no. 18, pp. 7385-92. <https://doi.org/10.1158/0008-5472>
  31. Intranodal palisaded myofibroblastoma: another mesenchymal neoplasm with CTNNB1 ( $\beta$ -catenin gene) mutations: clinicopathologic, immunohistochemical, and molecular genetic study of 18 cases. Laskin W.B., Lasota J.P., Fetsch J.F., Felisiak-Golabek A., Wang Z.F., Miettinen M. *Am. J. Surg. Pathol.*, 2015, vol. 39, no. 2, pp. 197-205. <https://doi.org/10.1097/PAS.0000000000000299>
  32. Krutsenko Y., Singhi A.D., Monga S.P.  $\beta$ -Catenin Activation in Hepatocellular Cancer: Implications in Biology and Therapy. *Cancers (Basel)*, 2021, vol. 13, no. 8, p. 1830. <https://doi.org/10.3390/cancers13081830>

33. Ledinek Ž., Sobočan M., Knez J. The Role of CTNNB1 in Endometrial Cancer. *Dis. Markers*, 2022, vol. 2022, p. 1442441. <https://doi.org/10.1155/2022/1442441>
34. Lien W.-H., Fuchs E. Wnt some lose some: transcriptional governance of stem cells by Wnt/ $\beta$ -catenin signaling. *Genes and Dev.*, 2014, vol. 28, pp. 1517–1532. <https://doi.org/10.1101/gad.244772.114>
35. Ma B., Hottiger M.O. Crosstalk between Wnt/ $\beta$ -Catenin and NF- $\kappa$ B Signaling Pathway during Inflammation. *Front. Immunol.*, 2016, vol. 7, p. 378. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2016.00378>
36. MafB, WDR77, and  $\beta$ -catenin interact with each other and have similar genome association profiles. He L., Gao M, Pratt H, Weng Z, Struhl K. *PLoS One*, 2022, vol. 17, no. 4, p. e0264799. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264799>
37. MAP Kinases Pathways in Gastric Cancer. Magnelli L., Schiavone N., Staderini F., Biagioni A., Papucci L. *Int. J. Mol. Sci.*, 2020, vol. 21, no. 8, p. 2893. <https://doi.org/10.3390/ijms21082893>
38. Mei X, Gu M, Li M. Plasticity of Paneth cells and their ability to regulate intestinal stem cells. *Stem. Cell Res. Ther.*, 2020, vol. 11, no. 1, p. 349. <https://doi.org/10.1186/s13287-020-01857-7>
39. Microarray analysis of gene expression in the cyclooxygenase knockout mice - a connection to autism spectrum disorder. Rai-Bhogal R., Ahmad E., Li H., Crawford D.A. *Eur. J. Neurosci.*, 2018, vol. 47, no. 6, pp. 750-766. <https://doi.org/10.1111/ejn.13781>
40. Multiomics analysis of tumor mutational burden across cancer types. Li L., Bai L., Lin H., Dong L., Zhang R., Cheng X., Liu Z., Ouyang Y., Ding K. *Comput. Struct. Biotechnol. J.*, 2021, vol. 19, pp. 5637- 5646. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2021.10.013>
41. Performance of DNA Methylation on the Molecular Pathogenesis of *Helicobacter pylori* in Gastric Cancer; targeted therapy approach. Vahidi S., Mirzajani E., Norollahi S.E., Aziminezhad M., Samadani A.A. *Journal of pharmacopuncture*, 2022, vol. 25, no. 2, pp. 88-100. <https://doi.org/10.3831/KPI.2022.25.2>
42. Pope C.N., Liu J. An Introduction to Interdisciplinary Toxicology: From Molecules to Man. *Academic Press*, 2020, pp. 97-110. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813602-7.00008-9>
43. Prognostic Significance of Wnt1, Wnt2, E-Cadherin, and  $\beta$ -catenin Expression in Operable Non-small Cell Lung Cancer. Wrona A., Sejda A., Dziadziuszko R., Jassem J. *J. Histochem. Cytochem.*, 2021, vol. 69, no. 11, pp. 711-722. <https://doi.org/10.1369/00221554211048550>
44. Screening and computational analysis of colorectal associated non-synonymous polymorphism in CTNNB1 gene in Pakistani population. Razak S., Bibi N., Dar

- J.A., Afsar T., Almajwal A., Parveen Z., Jahan S. *BMC Med. Genet.*, 2019, vol. 20, no. 1, p. 171. <https://doi.org/10.1186/s12881-019-0911-y>
45. Silva-García O., Valdez-Alarcón J.J., Baizabal-Aguirre V.M. The Wnt/ $\beta$ -catenin signaling pathway controls the inflammatory response in infections caused by pathogenic bacteria. *Mediators Inflamm.*, 2014, vol. 2014, p. 310183. <https://doi.org/10.1155/2014/310183>
46. Solid pseudopapillary neoplasm (SPN) of the testis: Comprehensive mutational analysis of 6 testicular and 8 pancreatic SPNs. Michalova K., Michal M., Sedivcova M., Kazakov D.V., Bacchi C., Antic T., Miesbauerova M., Hes O., Michal M. *Ann. Diagn. Pathol.*, 2018, vol. 35, pp. 42-47. <https://doi.org/10.1016/j.andiagnpath.2018.04.003>
47. The General Expression Analysis of WTX Gene in Normal and Cancer Tissues. Zhang Y.Y., Wang Q.M., Niu H.L., Liu X., Zhang Q.L. *Pathol. Oncol. Res.*, 2017, vol. 23, no. 2, pp. 439-446. <https://doi.org/10.1007/s12253-016-0168-0>
48. The involvement of noncanonical Wnt signaling in cancers. Chen Y., Chen Zh., Tang Y., Xiao Q. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 2021, vol. 133, pp.1-8. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.110946>
49. The molecular characteristics of high-grade gastroenteropancreatic neuroendocrine neoplasms. Venizelos A., Elvebakken H., Perren A., Nikolaienko O., Deng W., Lothe I.M.B., Couvelard A., Hjortland G.O., Sundlöv A., Svensson J., Garsresori H., Kersten C., Hofslie E., Detlefsen S., Krogh M., Sorbye H., Knappskog S. *Endocr. Relat. Cancer*, 2021, vol. 29, no. 1, pp. 1-14. <https://doi.org/10.1530/ERC-21-0152>
50. WNT Signaling in Disease. Ng L.F., Kaur P., Bunnag N., Suresh J., Sung I. Ch. H., Tan Q.H., Gruber J., Tolwinski N.S. *Cells*, 2019, vol. 8, p. 826. <https://doi.org/10.3390/cells8080826>
51. Wnt/ $\beta$ -catenin signaling: functional, biological mechanisms, and therapeutic opportunities. Liu J., Xiao Q., Xiao J., Niu Ch., Li Y., Zhou Zh., Shu G., Yin G. *Signal Transduction and Target Therapy*, 2022, vol. 7, p. 3. <https://doi.org/10.1038/s41392-021-00762-6>
52. Wnt/ $\beta$ -catenin signaling regulates Yes-associated protein (YAP) gene expression in colorectal carcinoma cells. Konsavage W.M. Jr., Kyler S.L., Rennoll S.A., Jin G., Yochum G.S. *J. Biol. Chem.*, 2012, vol. 287, no. 15, pp. 11730-11739. <https://doi.org/10.1074/jbc.M111.327767>
53. Wnt/ $\beta$ -catenin signalling in ovarian cancer: Insights into its hyperactivation and function in tumorigenesis. Nguyen V.H.L., Hough R., Bernaudo S., Peng C. J. *Ovarian Res.*, 2019, vol. 12, no. 1, p. 122. <https://doi.org/10.1186/s13048-019-0596-z>

54. Wnt/ $\beta$ -catenin, an oncogenic pathway targeted by *H. pylori* in gastric carcinogenesis. Song X., Xin N., Wang W, Zhao C. *Oncotarget*, 2015, vol. 6, no. 34, pp. 35579-88. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.5758>

### **ВКЛАД АВТОРОВ**

**Агеева Е.С.:** разработка концепции – формирование идеи; формулировка и развитие ключевых целей и задач. Проведение исследования – сбор данных/доказательств, анализ и интерпретация полученных данных. Подготовка и редактирование текста – составление черновика рукописи, его критический пересмотр с внесением ценного замечания интеллектуального содержания; участие в научном дизайне. Утверждение окончательного варианта статьи – принятие ответственности за все аспекты работы, целостность всех частей статьи и ее окончательный вариант. Визуализация – подготовка, создание и презентация опубликованной работы в части визуализации/отображении данных. Ресурсное обеспечение исследования – предоставление ресурсов для проведения анализа.

**Штыгашева О.В.:** разработка концепции – развитие ключевых целей и задач. Проведение исследования – сбор данных. Подготовка и редактирование текста – критический пересмотр черновика рукописи с внесением ценного замечания интеллектуального содержания. Утверждение окончательного варианта статьи – принятие ответственности за все аспекты работы, целостность всех частей статьи и ее окончательный вариант.

**Шрамко Ю.И.:** разработка концепции – развитие ключевых целей и задач. Проведение исследования – сбор данных. Подготовка и редактирование текста – критический пересмотр черновика рукописи с внесением ценного замечания интеллектуального содержания. Утверждение окончательного варианта статьи – принятие ответственности за все аспекты работы, целостность всех частей статьи и ее окончательный вариант. Ресурсное обеспечение исследования – предоставление данных для написания статьи.

### **AUTHOR CONTRIBUTIONS**

**Elizaveta S. Ageeva:** concept development – idea formation; statement and development of key goals and objectives. Conducting a study – collection of data/evidence, analysis and interpretation of the data obtained. Preparation and editing of the text – drafting of the manuscript, its critical revision with the introduction of valuable comments of intellectual content; participation in scientific design. Approval of the final version of the article – taking responsibility for all aspects of the work, the integrity of all parts of the article

and its final version. Visualization – preparation, creation and presentation of published work in terms of visualization/data display. Research resource support -provision of resources for analysis

**Olga V. Shtygasheva:** concept development – development of key goals and objectives. Conducting research – data collection. Preparation and editing of the text – critical revision of the draft of the manuscript with the introduction of valuable comments of intellectual content. Approval of the final version of the article – taking responsibility for all aspects of the work, the integrity of all parts of the article and its final version.

**Iuliana I. Shramko:** concept development-development of key goals and objectives. Conducting research – data collection. Preparation and editing of the text – critical revision of the draft of the manuscript with the introduction of valuable comments of intellectual content. Approval of the final version of the article – taking responsibility for all aspects of the work, the integrity of all parts of the article and its final version. The resource support of the research is the provision of data for writing an article.

#### ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

**Агеева Елизавета Сергеевна**, доктор медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой биологии медицинской КФУ им. В.И. Вернадского  
*просп. Вернадского, 4, г. Симферополь, 295007, Российская Федерация*  
*ageevaeliz@rambler.ru*

**Штыгашева Ольга Владимировна**, доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры внутренних болезней ХГУ им. Н.Ф. Катанова  
*проспект Ленина, 90, г. Абакан, Республика Хакасия, 655017, Российская Федерация*  
*olgashtygasheva@rambler.ru*

**Шрамко Юлиана Ивановна**, кандидат биологических наук, доцент кафедры общей и клинической патофизиологии КФУ им. В.И. Вернадского  
*просп. Вернадского, 4, г. Симферополь, 295007, Российская Федерация*  
*julianashramko@rambler.ru*

**DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Elizaveta S. Ageeva**, MD, Professor, Head of Department of Medical Biology  
*V.I. Vernadsky Crimean Federal University*  
4, Prospekt Vernadskogo, Simferopol, Republic of Crimea, 295007, Russian Federation  
ageevaeliz@rambler.ru  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4590-3580>

**Olga V. Shtygasheva**, MD, Professor, Professor of Department of the *Internal Medicine*  
*N.F. Katanov Khakass State University*  
90, Lenin Ave., Abakan, Republic of Khakassia, 655017, Russian Federation  
olgashtygasheva@rambler.ru  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5522-1148>

**Iuliana I. Shramko**, PhD, Associate Professor, Department of General and Clinical Pathophysiology  
*V.I. Vernadsky Crimean Federal University*  
4, Prospekt Vernadskogo, Simferopol, Republic of Crimea, 295007, Russian Federation  
julianashramko@rambler.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4946-7317>

Поступила 17.12.2022

После рецензирования 29.12.2022

Принята 08.01.2023

Received 17.12.2022

Revised 29.12.2022

Accepted 08.01.2023

## ОПЫТ РЕГИОНОВ

## EXPERIENCE OF REGIONS

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-337-356

УДК 664



Научная статья | Сельскохозяйственное производство

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ  
ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО  
МЕХАНИЗМА РАЗВИТИЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В АГРАРНО-ПРОМЫШЛЕННОМ  
КОМПЛЕКСЕ СИБИРИ**

*А.С. Третьяк, И.Ю. Ваславская,  
А.Л. Полтарыхин, А.А. Благодатская*

***Актуальность работы.** Актуальность исследования обусловлена необходимостью развития агропромышленного производства на новом качественном уровне, повышения уровня продовольственной безопасности региона за счет совершенствования организационно-экономического механизма развития инвестиционной деятельности в аграрно-промышленном комплексе.*

***Цель работы.** Целью данного исследования выступает разработка научно-методических положений по совершенствованию организационно-экономических механизмов инвестиционной деятельности в АПК регионов Сибири.*

***Материалы и методы.** Методика исследования направлена на уточнение основных принципов формирования организационно-экономического механизма развития пищевой и перерабатывающей промышленности с учётом отраслевых особенностей инновационного развития.*

***Результаты.** Углубленные исследования проведены по организациям АПК Новосибирской области. В основной части статьи раскрыты показатели, характеризующие развитие сельского хозяйства России в 2017-2020 гг., а также показатели инновационной деятельности в сельском хозяйстве за 2017-2021 гг. Показана доля инвестиций, направленных на реконструкцию*

*и модернизацию основных фондов в России, в процентах от общего объема инвестиций. Рассмотрен механизм субсидирования на компенсацию понесенных затрат на строительство (модернизацию) объектов АПК. Разработаны основные направления совершенствования организационно-экономического механизма инвестиционного процесса в сельском хозяйстве Сибири.*

**Заключение.** *В заключении сформулированы научные положения по совершенствованию организационно-экономического механизма развития инвестиционной деятельности в АПК.*

**Ключевые слова:** *АПК; инвестиции; модернизация; научные принципы; направления развития*

**Для цитирования.** *Третьяк А.С., Ваславская И.Ю., Полтарыхин А.Л., Благодатская А.А. Совершенствование организационно-экономического механизма развития инвестиционной деятельности в аграрно-промышленном комплексе Сибири // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №3. С. 337-356. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-337-356*

Original article | Agricultural Production

## IMPROVEMENT OF THE ORGANIZATIONAL AND ECONOMIC MECHANISM FOR THE DEVELOPMENT OF INVESTMENT ACTIVITIES IN THE AGRICULTURAL AND INDUSTRIAL COMPLEX OF SIBERIA

*A.S. Tretyak, I.Yu. Vaslavskaya,  
A.L. Poltarykhin, A.A. Blagodatetskaya*

**The relevance of the work.** *The relevance of the study is due to the need to develop agro-industrial production at a new qualitative level, to increase the level of food security in the region by improving the organizational and economic mechanism for the development of investment activities in the agro-industrial complex.*

**Objective.** *The purpose of this study is the development of scientific and methodological provisions for improving the organizational and economic mechanisms of investment activity in the agro-industrial complex of Siberian regions.*

**Materials and methods.** *The research methodology is aimed at clarifying the basic principles of the formation of the organizational and economic mechanism*

*for the development of the food and processing industry, taking into account the sectoral features of innovative development.*

**Results.** *In-depth studies were carried out on the organizations of the agro-industrial complex of the Novosibirsk region. The main part of the article discloses indicators characterizing the development of Russian agriculture in 2017-2020, as well as indicators of innovative activity in agriculture for 2017-2021. Shows the share of investments aimed at the reconstruction and modernization of fixed assets in Russia, as a percentage of the total investment. The mechanism of subsidizing to compensate for the costs incurred for the construction (modernization) of agribusiness facilities is considered. The main directions for improving the organizational and economic mechanism of the investment process in Siberian agriculture have been developed.*

**Conclusion.** *In conclusion, scientific provisions are formulated to improve the organizational and economic mechanism for the development of investment activities in the agro-industrial complex.*

**Keywords:** *agro-industrial complex; investments; modernization; scientific principles; directions of development*

**For citation.** *Tretyak A.S., Vaslavskaya I.Yu., Poltarykhin A.L., Blagodatskaya A.A. Improvement of the Organizational and Economic Mechanism for the Development of Investment Activities in the Agricultural and Industrial Complex of Siberia. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 337-356. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-337-356*

## **Введение**

С помощью мер государственной поддержки, направленных на стимулирование привлечения инвестиционных ресурсов в сельское хозяйство, а также сложившейся благоприятной рыночной конъюнктуре, в настоящее время в Сибири наблюдается развитие агропромышленного производства на новом качественном уровне, повышение уровня продовольственной безопасности региона. За 2018-2021 гг. на фоне роста производства на душу населения зерна, овощей, молока и яиц, произошло снижение потребления хлеба и картофеля. Среди негативных тенденций отмечается снижение экспорта сельскохозяйственной продукции и продовольственных товаров в натуральном выражении на 9,4%. Однако в стоимостном выражении их экспорт увеличился на 16,1% [2].

Наибольшую значимость для развития экономики Сибири и обеспечения продовольствием ее регионов имеет зерновой рынок. Ежегодно в Сибирском федеральном округе производится 14,5–17,3 млн тонн зерна, что

при уровне потребления в 10,5-11,0 млн тонн позволяет ему вывозить за пределы региона 4-6,3 млн тонн зерна и продуктов его переработки [3]. В межрегиональных поставках наибольший экономический интерес представляет экспорт зерна и зернопродуктов, позволяющий реализовать зерновую продукцию по более высоким ценам и более успешно решать финансовые вопросы субъектов рынка [20]. Экспорт зерна и продуктов его переработки с высокой добавленной стоимостью за 2017-2021 гг. увеличился в физическом объеме в 8,6 раза и на 38,0%, а стоимостном – в 10 раз и на 90,2% соответственно [2]. Так, в 2021 г. по сравнению объем экспорта зерна в физическом выражении составил 1,57 млн тонн на сумму 386,3 млн долл. США, а продукции мукомольно-крупяной промышленности – 130,7 тыс. тонн на сумму 75,3 млн долл. США [2]. АПК сибирских регионов имеет высокий потенциал внешнеэкономической деятельности, несмотря на имеющиеся проблемы в развитии сельского хозяйства и сложившейся конъюнктуре: высокая зависимость валового сбора и структуры продукции растениеводства от природно-климатических условий, технологий, компетенций субъектов рынка и рыночной конъюнктуры; глобальные проблемы человечества (изменение климата, разрыв хозяйственных связей по всему миру); рост цен на средства химической защиты растений, органические удобрения и энергоносители; недостаточное ресурсное обеспечение агропромышленного производства [21]; необходимость сертификации продукции для международной торговли; дефицит упаковки пищевых продуктов; недостаточный объем государственной поддержки; наличие диспропорций в межотраслевых экономических отношениях [18; 19], в развитии различных категорий хозяйств, дифференциация по уровню доходности регионов и сельхозпроизводителей; высокие транзакционные издержки и другие [5; 11; 13].

Существующее положение дел фактически блокирует развитие полноценного продовольственного рынка Сибири и, как следствие, влияет на физическую и экономическую доступность продовольствия [1, 6].

В связи с этим, для инновационного развития системы агропромышленного производства и обеспечения продовольствием регионов Сибири, улучшения условий труда и повышения качества жизни сельского населения в условиях мировых интеграционных процессов необходимо разработать организационно-экономический механизм [15; 16; 17].

Целью исследования является разработка научно-методических положений по совершенствованию организационно-экономических механизмов инвестиционной деятельности в АПК регионов Сибири.

Объект исследования – процессы развития организационно-экономи-

ческих и социально-экономических отношений в системе производства и обеспечения продовольствием регионов Сибири.

Предметом исследования выступили тенденции, принципы, особенности, факторы, условия, модели, механизмы развития организационно-экономических и социально-экономических отношений в системе производства и обеспечения продовольствием регионов Сибири.

### **Методология**

В ходе выполнения исследования проводился анализ законопроектов, статей в области развития инвестиционной деятельности в АПК, использовались методы анализа статистических данных. Информационной базой для исследования являются данные Росстата, статистические сборники Высшей школы экономики.

### **Результаты**

Особенностью современного и предстоящего периода развития экономики является многофакторный характер угроз и рисков. В условиях санкционного давления, когда поставлена задача ускоренного научно-технологического развития сельского хозяйства, особое внимание государство должно уделять реализации федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017-2030 гг., в которой предполагался существенный рост инвестиций за счет средств частного бизнеса: с 870,1 млн руб. в 2017 году до 3115,1 млн руб. к 2020 году. В 2020 г. фактическое финансирование научно-технической программы на 2017-2030 гг. из ФБ составило только 88% (1229,4 млн руб. по данным счетной палаты) от запланированного. В 2022 г. целевой показатель этой программы «Объем привлеченных инвестиций в сельское хозяйство» скорректирован в сторону снижения (2022 г. – 1120,17 млн руб., 2023 г. – 2659,4, 2024 г. – 2851,3 млн руб.) [8]. Считаем, что организация импортозамещения критически важных видов сельскохозяйственной продукции, а также ресурсов, используемых в агропромышленном и рыбохозяйственном комплексе, потребует более существенных инвестиций, чем заявлено в скорректированной программе.

Инвестиции в основной капитал являются одним из основных факторов восстановления экономической динамики после преодоления периода спада деловой активности, обусловленного кризисом 2014 г., пандемией, проведением спецоперации на территории Украины. В 2017–2018 гг. инвестиции в основной капитал росли опережающими темпами относительно динамики валовой добавленной стоимости по сельскому хозяйству (ВДС).

В 2018 г. при увеличении инвестиций в основной капитал на 4,2% прирост ВДС составил 2,0% относительно предыдущего года (табл. 1).

Таблица 1.

**Показатели, характеризующие развитие сельского хозяйства России  
в 2017-2020 гг.**

Показатель	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Индекс физического объема валовой добавленной стоимости по виду деятельности «сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство», %	102,2	102,0	103,9	102,3
Индекс физического объема производства продукции сельского хозяйства, %	102,9	99,8	104,3	101,3
Индекс физического объема основного капитала по виду деятельности: «сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство», %	109,7	106,1	100,4	95,0
Доля в общем объеме инвестиций по виду деятельности «сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство», %	4,4	4,4	4,4	4,3
Темп роста экспорта продукции АПК, в % к предыдущему году	121,4	120,4	99,2	118,6

Источник: составлено на основе данных [2]

В 2020 г. положительная динамика ВДС и производства продукции сельского хозяйства сохранилась, а вот объем инвестиций в основной капитал сократился на 5% в ответ на неопределенность развития ситуации в экономике и наличие потенциальных рисков в условиях пандемии.

Сжатие внутреннего спроса на продовольствие в силу снижения реальных доходов населения частично компенсировалось ростом экспорта сельскохозяйственной продукции на 18,6% по сравнению с 2019 г. Увеличение доходов от экспорта продовольствия, общая благоприятная конъюнктура агропродовольственного рынка обусловили рост рентабельности сельскохозяйственных организаций в 2020 г. до 21,0% (включая субсидии из бюджета). Доля прибыльных хозяйств увеличилась до 86,1% (в 2017 г. – 82,7%), убыточных сократилась до 13,9% (в 2017 г. – 17,3%).

Сальдированный финансовый результат (прибыль минус убыток) организаций по сельскому хозяйству увеличился до 504916 млн руб. или в 2,1 раза по сравнению в предыдущим годом. Это положительно сказалось на инвестиционной активности аграрных предприятий, прирост инвестиций в основной капитал сельского хозяйства в 2021 г. составил 3,5% (в сопоставимых ценах). В первом квартале 2022 г. тенденция роста инвестиций в аграрный сектор

экономики России сохранилась, но по итогам года возможно снижение в силу возникновения дополнительных рисков в связи с неопределенностью экономической ситуации. В СФО развитие инвестиционных процессов в сельском хозяйстве соответствует общероссийским тенденциям.

Несмотря на ряд успешных мероприятий в инвестировании АПК, имеются и нерешенные проблем. Так в качестве одной из основных проблем является низкая инновационная направленность инвестиций в сельское хозяйство. Хотя уровень инновационной активности аграрных предприятий постепенно растет (от 4,6% в 2017 г. до 8,1% в 2021 г.), наблюдается рост в 2,1 раза затрат на инновационную деятельность в сельском хозяйстве, тем не менее доля инновационных товаров в общем объеме отгруженных товаров, работ, услуг небольшая всего 2,3% (табл. 2).

По данным Росстата [3] в 2021 г. в общем объеме инвестиций в инновации приоритет отдан приобретению машин, оборудованию, прочим основным средствам, связанных с инновационной деятельностью, – 87,7%, на проведение исследований и разработку новых продуктов, услуг и методов их производства – только 5,8%, разработку и приобретение программ ЭВМ и баз данных – 3,6%.

Таблица 2.

**Основные показатели инновационной деятельности  
в сельском хозяйстве за 2017-2021 гг.**

Показатель	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2021 г. к 2017 г., +/-
Уровень инновационной активности организаций, %	4,6	4,2	4,2	6,6	8,1	3,5
Затраты на инновационную деятельность, млн руб. (в действующих ценах)	15942,0	22033,3	49393,2	39692,8	33424,6	17482,6
Объем инновационных товаров, млн руб. (в действующих ценах)	28446,0	33829,1	69559,2	58855,8	67339,6	38893,6
Удельный вес инновационных товаров в общем объеме отгруженных товаров, работ, услуг, %	1,8	1,9	2,3	2,3	2,3	0,5
Удельный вес организаций, осуществляющих технологические инновации, %	5,2	5,4	6,5	9,4	10,4	5,2

Составлено по данным [3, 4]

Только десятая часть аграрных предприятий проводит мероприятия по технологическим инновациям. При этом часть инвестиций, которые предприятия направляют на реконструкцию и модернизацию основных фондов сельского хозяйства, составила в 2021 г. только 7,1%, вдвое меньше, чем по экономике в целом (рисунок 1). При этом их технологическая структура несовершенна, так как удельный вес затрат в активную часть основных средств всего 18,4%, тогда как по экономике в целом 31,8%.



**Рис. 1.** Часть инвестиций, выделенных на реконструкцию и модернизацию основных фондов по РФ, % от общего объема инвестиций  
Составлено по данным [3, 4]

В последнее время активно развиваются аграрные технологии преимущественно на основе цифровизации с использованием венчурного капитала [11]. По расчетам аналитиков Agfunder, суммарный объем инвестиций в 2021 г. составляет 10,1 млрд долларов в Agri&Food-технологии и стартапы, хотя еще к 2010 г. рынок не превышал \$200 млн [14]. Распространение технологий и интернет вещей (IoT), появление на рынке относительно недорогих дронов, развитие микропроцессоров – все это дало мощный толчок новым подходам к агропроизводству и распространению практик точного земледелия.

Сейчас в развитии агропромышленных технологий заинтересованы российские венчурные фонды и акселераторы. Так из них можно выделить: Maxfield Capital, Skolkovo Ventures, венчурный фонд Sistema\_VC, венчурный фонд «ГилТех Капитал», Oden Holdings Limited, Трек Agro&MedTech акселератора GenerationS и другие.

Тем не менее, по данным российской ассоциации венчурного инвестирования объем венчурных инвестиций в сельское хозяйство не превышает 0,2-0,3% к итогу [7]. В отраслевом аспекте венчурных инвестиций приоритетны инвестиции в информационно-коммуникационные технологии.

Государственная поддержка инвестиций в сельское хозяйство проводится в рамках ведомственного проекта «Стимулирование инвестиционной деятельности в агропромышленном комплексе» Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия. В качестве основных мероприятий в 2021 г. выделены поддержка льготного кредитования для организаций АПК (увеличение с 35,1% в 2018 г. до 59,3% от суммы фактических расходов), мероприятия, направленные на поддержку инвестиционного кредитования (в размере 12,7%), компенсацию понесенных затрат на строительство объектов (в размере 5,3%), другие направления (22,7%).

В 2021 г. было заключено порядка 15,0 тыс. кредитных договоров по льготным краткосрочным кредитам, общая сумма составила более 756 млрд руб. В сравнении с 2019 г. наблюдается увеличение кредитных средств в 1,9 раза. Доля малых форм хозяйствования в льготных инвестиционных кредитах выросла с 29,8% до 32,3%.

За 2018-2021 гг. исполнение льготных краткосрочных кредитов в субъектах СФО было на уровне 82,0-84,5%, а льготных инвестиционных кредитов 12,8-63,2% (табл. 3). Доля СФО от общего числа льготного краткосрочного кредитования, составила 12,3% и 10,1% от общей суммы планового финансирования. По льготным инвестиционным кредитам соответственно 15,1% и 6,8% (табл. 4).

Таблица 3.

**Информация о выданных льготных инвестиционных кредитах  
в субъектах СФО**

Годы	Количество кредитных договоров	% от всего по РФ	Плановая сумма по кредитным договорам, млн рублей	% от всего по РФ	Фактически предоставлено кредитных средств, млн рублей	% факт / план
2018	445	11,9	46,2	4,8	5,9	12,8
2019	826	14,9	18071,9	5,5	9940	55,0
2020	974	14,7	19657,3	6,5	11822,4	60,1
2021	1274	15,1	30583,2	6,8	19315,9	63,2

Составлено по данным [3, 4]

Таблица 4.

**Основные виды техники, приобретение, поставка в СФО**

Техника	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Основные виды техники в Сибирском округе, с года выпуска которой прошло более 10 лет, % (по данным органов управления АПК субъектов СФО)					
Тракторы в АПК	69,7	67,5	66,0	64,0	58,8
Зерноуборочные комбайны	51,5	50,3	46,1	52,5	49,5
Кормоуборочные комбайны	43,3	41,8	41,9	39,7	44,0
Приобретение основных видов сельскохозяйственной техники в СФО, ед.					
Тракторы в АПК	1200	1025	1162	1725	2148
Зерноуборочные комбайны	747	611	719	894	1315
Кормоуборочные комбайны	132	134	98	125	107
Поставка АО «Росагролизинг» сельскохозяйственной и автомобильной техники на условиях финансовой аренды (лизинга) в СФО, шт.					
Тракторы	43	55	59	125	147
Комбайны	106	86	117	193	166
Другая сельхозтехника	174	217	203	414	492
Автомобильная техника	76	120	85	42	39
Количество сельскохозяйственной техники, приобретенной за счет кредитов АО «Россельхозбанк» в СФО, шт.					
Тракторы в АПК	117	90	81	165	218
Зерноуборочные комбайны	95	68	109	135	29
Кормоуборочные комбайны	14		9	9	9

Составлено по данным [3, 4]

Около половины фактически предоставленных кредитных средств (45,4%) направлено на приобретение сельскохозяйственной техники и оборудования, 19,6% – на строительство, реконструкцию и модернизацию производственных мощностей по переработке продукции растениеводства и животноводства. Рост инвестиций, направленный на приобретение техники, обусловил увеличение доли машин и оборудования в общем объеме основных фондов сельского хозяйства с 37,4% в 2018 г. до 40,5% в 2021 г.

По субсидируемым инвестиционным кредитам в АПК, полученным до 31.12.2016 г., размер выплаченных субсидий составил 17,1 млрд руб. Остаток ссудной задолженности на 01.01.2021 г. уменьшился до 231,4 млрд руб. или на 46% по сравнению с 2019 г., что будет способствовать улучшению инвестиционного климата в сельском хозяйстве. Субсидирование возмещения части прямых понесенных затрат на создание и модернизацию объектов АПК направлено на активизацию инвестирования сельскохозяйственного

производства в основном крупными агрохолдингами, так как значительную долю субсидий получают именно крупные сельхозтоваропроизводители [12]. В 2018-2021 гг. преобладающий объем субсидий на компенсацию понесенных затрат был направлен на поддержку строительства и модернизации молочных комплексов (ферм) – 62,9%, а также тепличных комплексов – 21,3, хранилищ – 12,0, селекционно-семеноводческих центров – 1,5% и других объектов (таблица 6). С 2022 г. КАПЕКсы (компенсации понесенных прямых затрат) предусмотрены на строительство репродукторов первого и второго порядка, как для мясного, так и для яичного птицеводства.

*Таблица 6.*

**Субсидии на компенсацию понесенных затрат на строительство (модернизацию) объектов за 2018-2021 гг.**

Направление	Кол-во проектов, ед.	Субсидия, тыс. руб.	Структура субсидий, %
Молочные комплексы	290	21074,5	62,9
Тепличные комплексы	40	7122,6	21,3
Хранилища	117	4015,2	12,0
Селекционно-семеноводческие центры	12	508,0	1,5
Овцеводческие комплексы (фермы) мясного направления	3	650,3	1,9
Льно-пенькоперерабатывающие предприятия	1	147,0	0,4
Всего	463	33517,6	100

Составлено по данным [3, 4]

В ходе исследования разработаны научные положения по совершенствованию организационно-экономического механизма развития инвестиционной деятельности в АПК, представленные на рисунке 2.

С целью обеспечения ускоренного научно-технологического развития сельского хозяйства необходимо наращивать объемы инвестиций и повышать эффективность их использования за счет усиления государственной поддержки инвестиций в инновации, потому что организация импортозамещения критически важных видов сельскохозяйственной продукции, а также ресурсов, используемой в АПК, потребует значительных капитальных затрат. Для ускорения технико-технологической модернизации материально-технической базы сельского хозяйства, пищевой промышленности, сферы производственного обслуживания АПК необходимо

обеспечить равный доступ сельхозтоваропроизводителей из различных субъектов РФ (независимо от их бюджетной обеспеченности) к льготным инвестиционным кредитам, а также к компенсациям на возмещение понесенных капитальных затрат при строительстве и модернизации объектов.

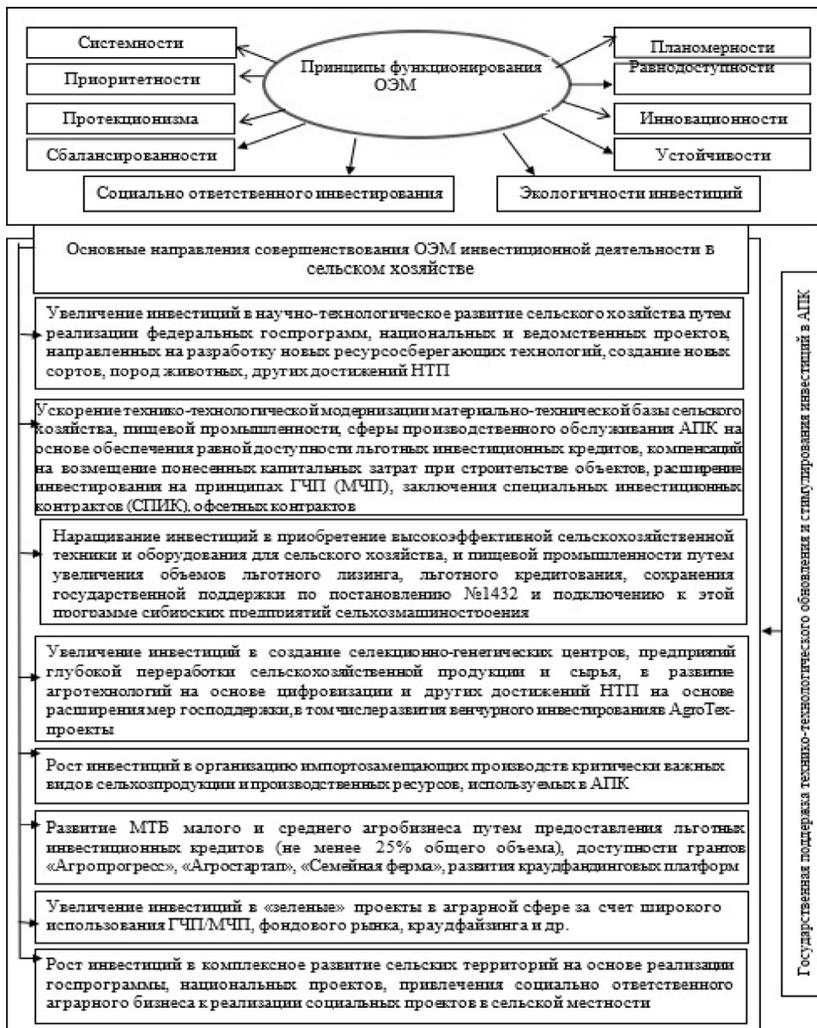


Рис. 2. Научные положения по совершенствованию организационно-экономического механизма развития инвестиционной деятельности в АПК

Увеличение инвестиций в создание селекционно-генетических и селекционно-семеноводческих центров, предприятий глубокой переработки сельскохозяйственной продукции и сырья, в развитие агротехнологий на основе цифровизации и других достижений НТП возможно на основе расширения мер господдержки, в том числе развития венчурного инвестирования в AgroTech-проекты. Инвестиционный прорыв российского бизнеса в аграрную экономику возможен на основе дальнейшего совершенствования механизма СЗПК – соглашения о защите и поощрении капиталовложений, применения недавно измененного механизма стимулирования инвесторов – специального инвестиционного контракта (СПИК), которые способствуют кооперации государства и частного бизнеса, что особенно важно для реализации межрегиональных проектов, проектов ГЧП и др.

Необходимо продолжить развитие материально-технической базы малого и среднего агробизнеса путем предоставления льготных инвестиционных кредитов, которые должны составлять не менее 25% от общего объема кредитов, а также доступности существующих грантов «Агропрогресс», «Агrostартап», «Семейная ферма». Среди новых механизмов следует шире использовать привлечение средств в агробизнес с помощью краудфандинговых платформ.

С целью успешной реализации государственной программы развития сельского хозяйства необходимо акцентировать внимание не только на инвестициях в создание производственных мощностей для выпуска продукции с высокой степенью переработки, но и учитывая потребности в реализации принципов «зеленой экономики». Со стороны инвесторов наблюдается увеличивающийся запрос на инвестирование, с учетом целей устойчивого развития на принципах ESG (Environmental, Social, Governance) [9]. Их можно расшифровать как ответственное отношение к окружающей среде, высокая социальная ответственность бизнеса, высокое качество корпоративного управления.

Распоряжением Правительства РФ от 14.07.2021 г. № 1912-р утверждены цели и основные направления устойчивого (в том числе зеленого) развития России, определяющие государственную политику по развитию инвестиционной деятельности и привлечению внебюджетных средств в проекты, связанные с положительным воздействием на окружающую среду и развитием социальных отношений [10]. В сельском хозяйстве к «зеленым» отнесены проекты, основанные на технологиях нулевой обработки земель, содержания крупного рогатого скота, обеспечивающих снижение выделения метана, проекты создания и модернизации ирригационной инфраструктуры для эффективного орошения сельскохозяйственных земель

и другие [21]. К «адаптационным» – проекты по созданию и модернизации инфраструктуры хранения и переработки продукции сельского хозяйства, навозохранилищ с последующей переработкой навоза, приобретению новой сельскохозяйственной техники и т.д.

Развитие экспортно-ориентированного сельского хозяйства предполагает учет мирового тренда на ответственное инвестирование – увеличение инвестиций в «зеленые» проекты в аграрной сфере за счет более широкого использования инструментов привлечения внебюджетных средств, таких как ГЧП/МЧП, фондового рынка, краудфандинга и других.

Определяющим фактором в долгосрочном развитии ESG-инвестирования сельского хозяйства станет государственная поддержка. Если государственные программы будут нацелены, в том числе на развитие зеленой аграрной экономики, то приток внебюджетных средств в соответствующие проекты будет расти.

Еще одной составляющей ESG-инвестирования является устойчивое социальное развитие и поддержка местных сообществ. С 2020 г. реализуется федеральная программа «Комплексное развитие сельских территорий», итоги реализации которой свидетельствуют о превышении плановых показателей по привлечению инвестиций из внебюджетных источников. Формирование социально ответственного аграрного бизнеса через участие в реализации проектов комплексного развития сельских территорий (агломераций) и благоустройства сельских поселений будет способствовать росту внебюджетных инвестиций, направленных на развитие села.

С целью достижения планируемых результатов реализации государственной программы «Комплексное развитие сельских территорий» необходимо не только увеличение объёмов её финансирования, но и корректировка системы отбора конкурсных проектов. В частности, для сельских территорий с низкой плотностью населения и недостаточным собственным потенциалом экономического роста, для которых характерно преобладающее число сёл с численностью населения менее 500 чел. и уровнем безработицы выше средних значений по России, необходимо применение повышающих коэффициентов при балльной оценке проектов.

Также следует предоставить регионам право в рамках реализации программы осуществлять не только строительство, но и приобретение вновь созданных объектов капитального строительства (домов культуры, фельдшерско-акушерских пунктов, школ, детских садов и т.д.). Это позволит использовать бюджетные средства более эффективно: сократить сроки их освоения; уменьшить риски несвоевременного завершения строительства в силу недобросовестности подрядчиков, длительных сроков процедур

размещения заказов; снизить риски некачественного выполнения работ, поскольку объект уже сдан и есть возможность оценить качество на стадии покупки объекта.

Инвестиции должны направляться не только на увеличение производства сельскохозяйственной продукции. Необходимо также учитывать и вкладывать в социо-эколого-экономическое развитие сельских территорий. При этом наблюдается недостаток средств, выделяемых из бюджета на реализацию государственной программы «Комплексное развитие сельских территорий», для достижения поставленных целей. Государственная поддержка должна быть направлена на создание условий для повышения инвестиционной активности на сельских территориях, что будет способствовать диверсификации сельской экономики, организации новых рабочих мест и обеспечению занятости сельского населения.

### **Заключение**

Рассматривая степень развития региональных агропродовольственных рынков и продовольственных связей, для удовлетворения потребностей населения регионов Сибири в сельскохозяйственной продукции, возникает необходимость предусматривать специальную систему экономических и организационных мер, устраняющих или ослабляющих отрицательные воздействия возможных угроз, рисков и негативных факторов на развитие агропромышленного производства и агропродовольственного рынка.

Для совершенствования управления инвестиционным развитием агропромышленного производства Сибири в условиях цифровизации, были сформулированы основные научные положения, в которых обозначено, что управление инвестициями должно носить комплексный характер, учитывающий как теоретико-методологические аспекты совершенствования всех элементов системы управления, так и факторы, влияющие на особенности создания и использования инвестиций в агропромышленном производстве по всей технико-технологической и финансово-экономической цепочке движения сельскохозяйственного сырья, готовой товарной продукции до реализации ее покупателю. Сделан акцент на необходимость совершенствования организационно-экономического механизма развития инвестиционной деятельности в АПК.

### ***Список литературы***

1. Головкина С.И. Продовольственная безопасность мира: теория и практика на примере России и Европы / С. И. Головкина, Е. Ю. Иванов // Актуальные проблемы науки и практики. 2016. № 4(005). С. 10-17.

2. Инвестиции в России. 2021: Стат. сб./ Росстат. М., 2022. 273 с.
3. Итоги федеральных статистических наблюдений. Федеральная служба государственной статистики. Форма № 4-инновация «Сведения об инновационной деятельности организации». 2021. <https://rosstat.gov.ru/statistics/science>
4. Индикаторы инновационной деятельности: 2022: статистический сборник / В.В. Власова, Л.М. Гохберг, Г.А. Грачева и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». М.: НИУ ВШЭ, 2022. 292 с.
5. Котляров И.Д. Развитие экспорта российской сельскохозяйственной продукции на основе сетевого сотрудничества в АПК // Экономика сельского хозяйства России. 2018. № 2. С. 76-84.
6. 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>
7. Обзор российского рынка венчурных инвестиций. 2021 / РАВИ. <http://www.rvca.ru/upload/files/lib/RVCA>
8. Постановление Правительства РФ от 13.05.2022 г. №872 «О внесении изменений в постановление Правительства РФ от 25.08.2017 г. №996». <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202205210004>
9. Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года /Резолюция Генеральной Ассамблеи ООН от 25.09.2015 № A/RES/70/1. [https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1\\_ru.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_ru.pdf)
10. Распоряжение Правительства РФ от 14.07.2021 г. №1912-р «Цели и основные направления устойчивого (в том числе зеленого) развития РФ». <https://government.ru/news/42795/>
11. Стельмашонок Е.В. Цифровая трансформация агропромышленного комплекса: анализ перспектив / Е. В. Стельмашонок, В. Л. Стельмашонок // 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>
12. Тю Л.В. Совершенствование государственной поддержки инвестиций в сельское хозяйство // АПК: экономика, управление. 2019. №11. С. 23-30.
13. Шарьпова О.А. Продовольственное самообеспечение Магаданской области в контексте вызовов развития региональной продовольственной системы // Региональная экономика: теория и практика. 2022. Т. 20, № 12(507). С. 2295-2316. <https://doi.org/10.24891/re.20.12.2295>
14. AgFunder (2022). AgriFoodTech Investment Report. <https://rshbdigital.ru/content/analitika/2.pdf>

15. Amirova E.F., Gavrilyeva N.K., Romanishina T.S., Asfandiarova R.A. On the problem of the development of 'sustainable' agriculture in modern economic realities // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Vol. 14(3). P. 392-406. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-392-406>
16. Butakova M.M., Sokolova O.N., Churina L.I. Export of agro-industrial products of Russia: new opportunities and development problems // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Vol. 14(3). P. 342-354. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-342-354>
17. Kovaleva E.A., Ivanyo Y.M. Management models of agrarian production taking into account natural and technogenic impacts on the environment // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Vol. 14(3). P. 24-39. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-24-39>
18. 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. P. 619-625. <https://doi.org/10.5220/0009565706190625>
19. Korableva O.N., Gorelov N., Kalimullina O. Contemporary Issues of Intellectual Capital: Bibliographic Analysis / Liyanage, J., Amadi-Echendu, J., Mathew, J. (eds) // Engineering Assets and Public Infrastructures in the Age of Digitalization. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. 2020. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-48021-9\\_51](https://doi.org/10.1007/978-3-030-48021-9_51)
20. Medvedeva L., Ivanova E. Analysis of long-term trends of world prices for agricultural products // XIV International Scientific and Practical Conference "State and Prospects for the Development of Agribusiness - INTERAGROMASH 2021". 2021. Vol. 273. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127308033>
21. Shirokov S.N., Trushkina I.R. Value of grain-growing sector within agro-industrial production: Structural changes and development trends // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 954(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/954/1/012085>

### References

1. Golovkina S.I., Ivanov E.Yu. *Aktual'nye problemy nauki i praktiki*, 2016, no. 4(005), pp. 10-17.
2. *Investitsii v Rossii* [Investments in Russia]. 2021: Stat. sb./ Rosstat. M., 2022, 273 p.
3. Results of federal statistical observations. Federal State Statistics Service. Form No. 4-innovation "Information on the organization's innovative activities". 2021. <https://rosstat.gov.ru/statistics/science>

4. *Indikatory innovatsionnoy deyatel'nosti: 2022: statisticheskiy sbornik* [Indicators of innovative activity: 2022: statistical collection] / V.V. Vlasova, L.M. Gokhberg, G.A. Gracheva et al.; Higher School of Economics. M.: Higher School of Economics, 2022, 292 p.
5. Kotlyarov I.D. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*, 2018, no. 2, pp. 76-84.
6. Mityashin G.Yu. *Vestnik NGIEI*, 2022, no. 9(136), pp. 120-135. <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-9-120-135>
7. Overview of the Russian market of venture investments. 2021 / RAVI. <http://www.rvca.ru/upload/files/lib/RVCA>
8. Decree of the Government of the Russian Federation of May 13, 2022. No. 872 "On Amendments to the Decree of the Government of the Russian Federation of August 25, 2017 No. 996". <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202205210004>
9. Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development / Resolution of the UN General Assembly dated September 25, 2015 No. A/RES/70/1. [https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1\\_ru.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_ru.pdf)
10. Decree of the Government of the Russian Federation of July 14, 2021 No. 1912-r "Goals and main directions of sustainable (including green) development of the Russian Federation". <https://government.ru/news/42795/>
11. Stel'mashonok E.V., Stel'mashonok V.L. *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>
12. Tyu L.V. *APK: ekonomika, upravlenie*, 2019, no. 11, pp. 23-30.
13. Sharypova O.A. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika*, 2022, vol. 20, no. 12(507), pp. 2295-2316. <https://doi.org/10.24891/re.20.12.2295>
14. AgFunder (2022). AgriFoodTech Investment Report. <https://rshbdigital.ru/content/analitika/2.pdf>
15. Amirova E.F., Gavrilyeva N.K., Romanishina T.S., Asfandiarova R.A. On the problem of the development of 'sustainable' agriculture in modern economic realities. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14(3), pp. 392-406. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-392-406>
16. Butakova M.M., Sokolova O.N., Churina L.I. Export of agro-industrial products of Russia: new opportunities and development problems. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14(3), pp. 342-354. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-342-354>
17. Kovaleva E.A., Ivanyo Y.M. Management models of agrarian production taking into account natural and technogenic impacts on the environment. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14(3), pp. 24-39. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-24-39>

18. 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>
19. Korableva O.N., Gorelov N., Kalimullina O. Contemporary Issues of Intellectual Capital: Bibliographic Analysis / Liyanage, J., Amadi-Echendu, J., Mathew, J. (eds). *Engineering Assets and Public Infrastructures in the Age of Digitalization. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. 2020. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-48021-9\\_51](https://doi.org/10.1007/978-3-030-48021-9_51)
20. Medvedeva L., Ivanova E. Analysis of long-term trends of world prices for agricultural products. *XIV International Scientific and Practical Conference "State and Prospects for the Development of Agribusiness - INTERAGROMASH 2021"*, 2021, vol. 273. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202127308033>
21. Shirokov S.N., Trushkina I.R. Value of grain-growing sector within agro-industrial production: Structural changes and development trends. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022, vol. 954(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/954/1/012085>

### ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

**Третьяк Анна Сергеевна**, кандидат исторических наук, доцент кафедры истории и социально-культурного сервиса  
*Юго-Западный государственный университет*  
*50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Российская Федерация*  
*Anna\_tretyak@bk.ru*

**Ваславская Ирина Юрьевна**, доктор экономических наук, профессор, кафедра экономики предприятий и организаций Высшей школы экономики и права  
*Казанский федеральный университет, Набережночелнинский институт*  
*ул. Кремлевская, 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация*  
*vaslavskaya@yandex.ru*

**Полтарыхин Андрей Леонидович**, доктор экономических наук, профессор  
*Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова*  
*пер. Стремянный, 36, г. Москва, 113054, Российская Федерация*  
*poltarykhin@mail.ru*

**Благодатская Ангелина Анатольевна**, кандидат экономических наук,  
доцент  
*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский Государственный Строительный Университет»*  
*Ярославское ш., 26, г. Москва, 129337, Российская Федерация*

#### DATA ABOUT THE AUTHORS

**Anna S. Tretyak**, Associate Professor, Department of History and Socio-cultural Service  
*Southwest State University*  
*94, 50 let Oktyabrya Str., Kursk, Kursk region, 305040, Russian Federation*  
*Anna\_tretyak@bk.ru*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5204-613X>*

**Irina Yu. Vaslavskaya**, Doctor of Economics, Professor, Department of Economics of enterprises and organizations, Higher School of Economics and rights  
*Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny Institute*  
*18, Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russian Federation*  
*vaslavskaya@yandex.ru*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1363-3865>*

**Andrey L. Poltarykhin**, Doctor of Economics, Professor  
*Plekhanov Russian University of Economics*  
*36, Stremyanny lane, Moscow, 113054, Russian Federation*  
*poltarykhin@mail.ru*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2272-2007>*

**Angelina A. Blagodatskaya**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor  
*Moscow State University of Civil Engineering*  
*26, Yaroslavskoe sh., Moscow, 129337, Russian Federation*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8703-0573>*  
*poltarykhin@mail.ru*

Поступила 01.04.2023

После рецензирования 29.04.2023, 10.05.2023

Принята 28.05.2023

Received 01.04.2023

Revised 29.04.2023, 10.05.2023

Accepted 28.05.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-357-386

УДК 664



Научная статья | Сельскохозяйственное производство

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПИЩЕВОЙ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*И.С. Абдуллаев, П.А. Курбанов,  
Р.А. Алешко, Ю.Ю. Финогенова*

**Цель работы.** Статья посвящена разработке научно-методических положений по совершенствованию организационно-экономического механизма инновационного развития пищевой и перерабатывающей промышленности с целью обеспечения продовольственной безопасности в Сибири.

**Материалы и методы.** Рассмотрены методики обоснования современных организационно-технологических регламентов, нормативов и стандартов для инновационного развития отрасли растениеводства. Для анализа основных направлений корректировки организационно-экономического механизма инновационного развития пищевой и перерабатывающей промышленности Сибири применяется программно-целевой подход.

**Результаты.** Рассмотрен алгоритм формирования организационно-технологических регламентов в растениеводстве на примере рапса. Предложены основные направления корректировки организационно-экономического механизма инновационного развития пищевой и перерабатывающей промышленности Сибири на основе программно-целевого подхода. Сформирован алгоритм базисных нормативов в системе стандартов возделывания рапса при разной интенсивности в условиях Новосибирской области. Особое внимание уделено экологическому блоку экономического обоснования стандартов возделывания растениеводства на примере масличных культур.

**Заключение.** Существующий на сегодня уровень потребления продуктов питания в районах освоения и Севера Сибири не в полной мере соответствует современным нормам и физиологическим потребностям населения с учетом их национальных и этнических особенностей. В этой связи развитие

пищевой и перерабатывающей промышленности АПК Сибирского федерального округа представляет стратегическое значение.

**Ключевые слова:** организационно-экономический механизм; инновации; алгоритм; методика; возделывание рапса

**Для цитирования.** Абдуллаев И.С., Курбанов П.А., Аleshko P.A., Финогенова Ю.Ю. Совершенствование организационно-экономического механизма инновационного развития пищевой и перерабатывающей промышленности // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №3. С. 357-386. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-357-386

Original article | Agricultural Production

## IMPROVEMENT OF THE ORGANIZATIONAL AND ECONOMIC MECHANISM OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF THE FOOD AND PROCESSING INDUSTRY

*I.S. Abdullaev, P.A. Gurbanov,  
R.A. Aleshko, Yu. Yu. Finogenov*

**Objective.** The article is devoted to the development of scientific and methodological provisions for improving the organizational and economic mechanism for the innovative development of the food and processing industry in order to ensure food security in Siberia.

**Materials and methods.** The methods of substantiation of modern organizational and technological regulations, norms and standards for the innovative development of the crop industry are considered. To analyze the main directions for adjusting the organizational and economic mechanism for the innovative development of the food and processing industry in Siberia, a program-targeted approach is used.

**Results.** An algorithm for the formation of organizational and technological regulations in crop production is considered on the example of rapeseed. The main directions for adjusting the organizational and economic mechanism for the innovative development of the food and processing industry in Siberia on the basis of a program-targeted approach are proposed. An algorithm of basic standards has been formed in the system of standards for rapeseed cultivation at different intensities in the conditions of the Novosibirsk region. Particular attention is paid to the ecological block of the economic substantiation of crop cultivation standards on the example of oilseeds.

**Conclusion.** *The current level of food consumption in the areas of development and the North of Siberia does not fully comply with modern standards and the physiological needs of the population, taking into account their national and ethnic characteristics. In this regard, the development of the food and processing industry of the agro-industrial complex of the Siberian Federal District is of strategic importance.*

**Keywords:** *organizational and economic mechanism; innovations; algorithm; methodology; rapeseed cultivation*

**For citation.** *Abdullaev I.S., Gurbanov P.A., Aleshko R.A., Finogenov Yu.Yu. Improvement of the Organizational and Economic Mechanism of Innovative Development of the Food and Processing Industry. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 357-386. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-357-386*

## Введение

С помощью мер государственной поддержки, направленных на стимулирование привлечения инвестиционных ресурсов в сельское хозяйство, а также сложившейся благоприятной рыночной конъюнктуре, в Сибири наблюдается развитие агропромышленного производства на новом качественном уровне, что способствует повышению уровня продовольственной безопасности региона. При этом за 2018-2021 гг. на фоне роста производства на душу населения зерна, овощей, молока и яиц, произошло снижение потребления хлеба и картофеля. Среди негативных тенденций также отмечается снижение экспорта сельскохозяйственной продукции и продовольственных товаров в натуральном выражении на 9,4% (хотя экспорт является одним из факторов расширения сельскохозяйственного производства [22]). Однако в стоимостном выражении их экспорт увеличился на 16,1% [7].

Существующее положение дел фактически блокирует развитие полноценного продовольственного рынка Сибири и, как следствие, влияет на физическую и экономическую доступность продовольствия.

С учетом того, что в России понятие «продовольственная безопасность» было упомянуто и впервые закреплено в Федеральной целевой «Программе стабилизации и развития агропромышленного производства Российской Федерации на 1996-2000 годы», где «достижение продовольственной безопасности страны» провозгласили основной целью государственной политики в области производства и потребления продуктов питания, перечисленные выше проблемы препятствуют достижению целей развития национальной экономики и могут нанести ущерб экономи-

ческой безопасности страны [8]. По этой причине необходима разработка мероприятий по решению этих проблем. Развитие агропромышленного производства Сибири требует внедрения технических, технологических, организационных и других инноваций для повышения его эффективности. Это связано с комплексом социально-экономических задач, стоящих перед сельским хозяйством регионов, где особую значимость приобретают вопросы обеспечения потребителей качественным, экологически чистым продовольствием собственного производства, улучшения условий труда и повышения качества жизни населения региона. Это ведет к необходимости разработки научно-методических положений по совершенствованию организационно-экономических механизмов инновационного развития [25; 29] системы агропромышленного производства и обеспечения продовольствием регионов Сибири в условиях мировых интеграционных процессов. Эти положения могут быть использованы для совершенствования механизмов управления продовольственной безопасностью и других регионов нашей страны [14, 19, 35].

Решение вышеперечисленных проблем обусловили выбор темы исследований, ее актуальность, научную и практическую значимость.

*Целью исследования* является разработка научно-методических положений по совершенствованию организационно-экономических механизмов инновационного развития системы агропромышленного производства и обеспечения продовольствием регионов Сибири.

*Объект исследования* – процессы развития организационно-экономических и социально-экономических отношений в системе производства и обеспечения продовольствием регионов Сибири, улучшения условий труда и повышения качества жизни сельского населения в условиях мировых интеграционных процессов.

*Предметом исследования* выступили тенденции, принципы, особенности, факторы, условия, модели, механизмы развития организационно-экономических и социально-экономических отношений в системе производства и обеспечения продовольствием регионов Сибири в условиях мировых интеграционных процессов.

### **Методология**

В основе данного исследования лежит концепция продовольственной безопасности как одного из основных элементов национальной безопасности Российской Федерации [8, 15, 23, 32]. Следовательно, одной из важнейших проблем национальной безопасности Российской Федерации

является проблема обеспечения продовольственной безопасности, решение которой зависит от уровня инновационного развития и стратегической направленности агропромышленного комплекса. В январе 2020 года утверждена новая редакция Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации, в которую внесён ряд принципиальных новых положений, а именно [12]:

- исключение значимости для продовольственной безопасности России членства во Всемирной торговой организации;
- учет положений Стратегии национальной безопасности Российской Федерации от 31 декабря 2015 года на период до 2030 года, касающихся продовольственной безопасности и других документов стратегического планирования;
- увеличение перечня показателей продовольственной независимости по всем товарным группам;
- раскрытие направлений увеличения производства продовольственных товаров и сырья на основе развития научно-технического прогресса, вовлечения в сельскохозяйственный оборот неиспользуемых пахотных земель.

В Доктрине продовольственной безопасности от 2020 года дано новое понятие продовольственной безопасности как «состояние социально-экономического развития страны, при котором обеспечивается продовольственная независимость Российской Федерации, гарантируется физическая и экономическая доступность для каждого гражданина страны пищевой продукции, соответствующей обязательным требованиям, в объемах не менее рациональных норм потребления пищевой продукции, необходимой для активного и здорового образа жизни» [2].

Отмечено, что «продовольственная безопасность страны, региона, муниципального образования – это обеспечение за счёт собственного производства и созданных запасов (в том числе за счёт ввоза с сопредельных территорий) бесперебойной физической, социальной, экономической доступности для всех слоёв населения ... натуральных, качественных, безопасных основных продуктов питания в количестве соответственно медицинским нормам, позволяющим вести здоровую, активную, полноценную жизнедеятельность каждому человеку» [16].

Повышение продовольственной безопасности Российской Федерации в значительной степени зависит от развития интеграции со странами ЕАЭС и стран-участниц СНГ в силу наличия совместных программ по развитию АПК и взаимной международной торговли.

В 2014 году был создан Евразийский экономический союз, в Договоре о создании которого сформулированы цели, задачи и основные направления согласованной (скоординированной) агропромышленной политики: эффективная реализация ресурсного потенциала государств-членов для оптимизации объемов производства конкурентоспособной сельскохозяйственной продукции и продовольствия, удовлетворения потребностей общего аграрного рынка, а также наращивания экспорта сельскохозяйственной продукции и продовольствия (ст. 94-95). С учётом введения санкций против ряда членов ЕАЭС в Договор в апреле внесены соответствующие изменения [11].

В рамках данной Концепции активно развивается международное сотрудничество между странами ЕАЭС и регионами Сибирского федерального округа на продовольственном рынке [4; 5].

Обеспечение продовольственной безопасности Сибири в условиях санкций представляется достаточно сложной задачей для отрасли, так как современное состояние российского агропродовольственного комплекса ещё не полностью обеспечивает продовольственную безопасность Российской Федерации и регионов, входящих в её состав.

Информационной базой исследования послужили данные Росстата о сельскохозяйственной производстве в Сибири. Для проведения исследования нами был использован общенаучный метод анализа и синтеза.

#### **Управление состоянием продовольственной безопасности в Сибири**

На основании проведенных исследований нами сформулированы научные положения по совершенствованию организационно-экономического механизма инновационного развития пищевой и перерабатывающей промышленности в условиях санкций, направленные на обеспечение продовольственной безопасности Сибири:

1) организационно-экономический механизм развития пищевой и перерабатывающей промышленности должен формироваться на основе принципов, учитывающих специфику отрасли и условия развития в настоящее время, а именно:

- территориально-отраслевым, основанный на научной обоснованности: сущность данного принципа заключается в планировании развития каждой подотрасли в регионах с учётом имеющейся сырьевой базы и формированием устойчивых коммерческих связей с поставщиками сырья (сельхозтоваропроизводителями всех типов). Иначе этот принцип называют принципом учёта региональной специфики;

- функциональный принцип, который заключается в социальной ориентации выпускаемых продуктов питания (продуктов питания, учитывающих нужды и потребности различных социальных групп населения; функциональные продукты питания, учитывающие нужды и потребности спортсменов, детей, больных, страдающих различными заболеваниями и т.д.) и реализации Концепции здорового питания населения [30, 15];
- принцип экологической ответственности заключается в разработке и внедрении безотходных технологий по глубокой переработке сельскохозяйственного сырья, новых видов биотехнологий и выпуске экологически чистой продукции. При невозможности внедрения безотходных технологий разрабатываются технологии безопасной утилизации отходов производства [3, 18, 23, 24, 28, 20];
- принцип инновационной направленности заключается во внедрении инновационных технологий переработки сельскохозяйственного сырья, применении цифровых технологий [33] по реализации и продвижению полученной продукции [31];
- принцип регулирования агропромышленного производства, включающий в себя поддержку отрасли, без которой невозможно эффективное развитие АПК в ряде регионов, а также субсидирование подотраслей, обеспечивающих продовольственную безопасность в регионах, в частности, хлебопекарной, молокоперерабатывающей, крупяной промышленности;
- принцип учёта региональной специфики для пищевой промышленности заключается в широком использовании местного сырья и выпуска оригинальной продукции на его основе, реализации одного из принципов этно-экономики изучения особенностей потребительского спроса местного населения и выпуске пищевой продукции на основе национальных рецептов. Широко используется в регионах, активно развивающих гастрономический туризм.

2) При разработке научных положений по совершенствованию организационно-экономического механизма развития пищевой и перерабатывающей промышленности АПК Сибири необходимо учитывать уровень развития отрасли в СФО.

Производство по большинству видов пищевой продукции стабильно растёт, а для ряда регионов пищевая промышленность является ведущей отраслью экономики (табл. 1).

Таблица 1.

**Структура объема отгруженной продукции по видам экономической деятельности «Обрабатывающие производства» в 2020 году (в %) \***

	Обрабатывающие производства всего	В том числе: производство пищевых продуктов; производство напитков; производство табачных изделий
Российская Федерация	100	16,9
Сибирский федеральный округ	100	12,8
Республика Алтай	100	46,2
Республика Тыва	100	24,9
Республика Хакасия	100	10,7
Алтайский край	100	42,3
Красноярский край	100	3,9
Иркутская область	100	9,1
Кемеровская область	100	8,4
Новосибирская область	100	29,6
Омская область	100	11,2
Томская область	100	20,3

\*Источник: [17, с.588]

Анализ развития экспортно-импортной деятельности на продовольственном рынке в СФО за 2016-2020 гг. показал, что она активно развивается (табл. 2). Самый большой рост экспорта по группе «Продукты растительного происхождения» в 5,3 раза, в 2 раза вырос экспорт по группе «Пищевые продукты, напитки, табак» за счет реализации продуктов верхних переделов.

Таблица 2.

**Темпы роста экспорта пищевой продукции из СФО (по отношению к 2015 году, в %) \***

Период	Продукты животного происхождения	Продукты растительного происхождения	Жиры и масла	Пищевые продукты, напитки, табак
2015	100	100	100	100
2016	119,1	126,0	106,6	107,4
2017	95,3	183,7	108,3	128,4
2018	108,4	270,7	109,6	159,2
2019	127,1	367,5	102,8	183,7
2020	137,4	533,3	129,8	200,7

\*разработано авторами на основе данных Росстата

Основными потребителями сибирских продуктов животного происхождения являются Казахстан 32,5% (от общего объема импорта данной продукции), Китай – 11,1%; Монголия – 10,5%.

Основными покупателями продукции растительного происхождения являются Китай – 37,1% (от объема экспорта данной продукции), Монголия – 13,5%; Казахстан – 12,3%.

Для расширения ассортимента продовольственных товаров и закупки продукции, не производящейся в Сибирском федеральном округе, проводится ввоз необходимой продукции (табл. 3).

*Таблица 3.*

**Темпы роста импорта в СФО (по отношению к 2015 году, в %) \***

Период	Продукты животного происхождения	Продукты растительного происхождения	Жиры и масла	Пищевые продукты, напитки, табак
2015	100%	100	100	100
2016	143,5	84,1	100	106,6
2017	185,5	106,5	180	160,4
2018	142,7	102,9	213,3	198,9
2019	141,7	58,9	332,3	187,9
2020	159,4	65,5	В 4 раза	181,3

\*разработано авторами на основе данных Росстата

За анализируемый период снизился на 34,5% импорт продуктов растительного происхождения. Основным поставщиком продуктов растительного происхождения в СФО является Китай – 59,6%, Казахстан поставляет 9,4%, Эквадор – 8,2%, Узбекистан – 5,1%, Молдова – 4,7%.

Импорт продуктов животного происхождения за 5 лет увеличился на 59,4% на основе развития экономических связей в рамках ЕАЭС: Беларусь занимает 1 место в импорте в СФО товаров данной группы 24,4%, Казахстан – второе – 22,7%, Киргизия – пятое – 6,3%.

Импорт пищевых продуктов и напитков вырос в 1,8 раза, по данной группе ведущее место занимает Казахстан – 42,2%, второе место – Китай – 15,2%, третье – Беларусь – 8%.

Таким образом пищевая и перерабатывающая промышленность АПК Сибирского федерального округа успешно развивается по большинству отраслей, за исключением молочной промышленности, что позволяет наращивать экспорт пищевой продукции. Однако программы по импортозамещению не выполнены, так как наращивается импорт по всем товарным

группам, за исключением продуктов растительного происхождения. Это противоречит задачам обеспечения долгосрочной продовольственной безопасности страны, которая основывается на продовольственной независимости [2], что требует импортозамещения производств ключевых видов сельскохозяйственной продукции [9].

3) При разработке научных положений по совершенствованию организационно-экономического механизма развития пищевой и перерабатывающей промышленности АПК Сибири необходимо учитывать уровень экономической доступности продовольствия в регионах СФО.

Экономическая доступность основной пищевой продукции для населения Сибирского федерального округа значительно отличается от среднероссийских показателей:

- по потреблению мяса и мясопродуктов среднее потребление по СФО соответствует рекомендуемой норме [5], однако по регионам, входящим в СФО, колеблется от 84,9% до 141,0%;
- по потреблению молока и молочных продуктов средний показатель по СФО соответствует среднероссийскому – 73,8%, в регионах колеблется от 55,1% до 88,3%;
- по потреблению овощей и продовольственных бахчевых культур экономическая доступность в среднем по Российской Федерации составила 76,4%, в Сибирском федеральном округе – 65,7%, при этом колеблется от 30% в Республике Тыва до 88,5% в Новосибирской области;
- потребление хлебных продуктов в Российской Федерации выше рекомендуемых норм на 20,8%, в Сибирском федеральном округе – на 25%, наибольшее потребление данной группы продуктов в Алтайском крае – на 55,2% выше нормы.

Отсюда следует важный вывод – продовольственная безопасность в Сибирском федеральном округе в настоящее время не обеспечена: наблюдается белковое голодание населения во всех регионах, входящих в СФО. Наиболее низкие показатели в Республиках Тыва, Хакассия, Алтайском крае, Кемеровской, Иркутской и Томской областях.

Согласно Концепции повышения продовольственной безопасности государств – участников СНГ, важным критерием уровня продовольственной безопасности страны является «качество, полноценность и сбалансированность рациона питания» [6].

В СФО данный критерий не достигнут, недостающее белковое питание население восполняет хлебными продуктами.

Важным фактором, влияющим на структуру питания населения, является уровень расходов населения на питание. В Российской Федерации в целом и Сибирском федеральном округе доля расходов на покупку продуктов питания в общей структуре расходов домашних хозяйств достаточно высока и составляет 35,3% (табл. 4).

Самая высокая доля расходов по данной статье в Омской области – 39,9%, Иркутской области – 35,3%, Алтайском крае – 35,5%.

Значительную роль в снижении экономической доступности основной пищевой продукции для населения Сибирского федерального округа играет снижение реальных денежных доходов населения с 2010 года (табл. 5), а также рост цен на продукты питания.

Таким образом, отрицательными факторами, оказывающими значительное влияние на достижение продовольственной безопасности в Сибирском федеральном округе, являются низкий уровень реальных денежных доходов населения и инфляция, приводящая к повышению цен на продовольственные товары.

Таблица 4.

**Доля расходов на покупку продуктов питания в общей структуре расходов домашних хозяйств Сибирского федерального округа (по итогам выборочного обследования бюджетов домашних хозяйств; в %) \***

	Покупка продуктов питания					
	2005	2010	2015	2018	2019	2020
Российская Федерация	36,1	32,9	35,4	33,5	32,9	35,3
Сибирский федеральный округ	33,1	33,8	34,4	33,9	33,9	34,0
Республика Алтай	38,8	32,8	31,2	30,8	31,4	30,4
Республика Тыва	34,5	35,4	38,7	37,0	33,3	31,2
Республика Хакасия	32,6	30,8	33,9	33,5	33,7	32,6
Алтайский край	33,6	31,7	33,0	33,7	36,1	35,5
Красноярский край	28,4	28,7	29,3	32,1	30,0	32,6
Иркутская область	30,9	33,0	32,3	34,3	31,1	35,3
Кемеровская область	27,3	35,1	35,4	33,4	33,0	31,8
Новосибирская область	42,9	36,7	35,3	37,4	41,6	34,0
Омская область	39,8	36,8	40,6	33,2	35,0	39,9
Томская область	33,1	33,4	31,9	33,0	32,8	30,1

\*Источник: [17, с. 250].

Таблица 5.

**Реальные денежные доходы населения Сибирского федерального округа  
(в % к предыдущему году) \***

	2010	2015	2018	2019	2020
Российская Федерация	105,4	96,4	101,4	101,7	98,6
Сибирский федеральный округ	102,9	97,1	100,8	100,8	98,8
Республика Алтай	115,2	92,7	103,0	101,9	104,5
Республика Тыва	95,3	99,2	101,7	103,4	110,9
Республика Хакасия	111,4	96,3	103,0	99,5	100,8
Алтайский край	104,6	99,1	99,7	99,6	95,5
Красноярский край	100,8	98,6	101,4	100,6	99,8
Иркутская область	100,8	97,2	100,3	101,7	100,4
Кемеровская область	104,8	95,9	100,8	101,1	98,1
Новосибирская область	103,3	96,4	102,8	101,7	99,8
Омская область	102,2	95,0	100,1	100,2	97,3
Томская область	102,5	96,5	99,2	98,9	97,7

\*Источник: [17, с. 250].

4) Для обеспечения продовольственной безопасности в Сибирском федеральном округе необходимо развивать государственный протекционизм пищевой промышленности и региональной оптовой торговли плодоовощной продукцией с целью формирования устойчивых международных и межрегиональных продовольственных связей со странами СНГ.

Успешное развитие продовольственной безопасности регионов, входящих в Сибирский федеральный округ, возможно на основе активного развития и применения программно-целевого управления на всех уровнях организационно-экономического механизма государственного регулирования пищевой промышленности, а также на муниципальном уровне.

По оценке Информационно-аналитического департамента Исполнительного комитета СНГ, «увеличение объемов производства сельскохозяйственной продукции в СНГ сопровождается существенным ростом цен на нее на мировом рынке» [7].

Создание сети государственных оптовых предприятий, специализирующихся на поставке овощей, фруктов и бахчевых культур позволит усилить контроль за ценообразованием на данном сегменте рынка, что чрезвычайно важно при галопирующей инфляции. В текущих экономических условиях расширение прямого участия государства в экономике представляется важным фактором повышения эффективности хозяйственной деятельности [21].

Таким образом, одной из задач улучшения ситуации на продовольственном рынке Сибири становится развитие торгово-экономических связей со странами СНГ, так как они не подвержены санкциям, имеются наземные логистические связи, сняты все ограничения, введённые в условиях пандемии в 2020-2021 годах и разрешено движение поездов по Турксибу, то есть во Центральноазиатские страны.

5) На федеральном уровне управления в Сибирском федеральном округе необходимо разработать Стратегию развития пищевой и перерабатывающей промышленности на период до 2035 года.

В регионах СФО, обладающих высоким потенциалом развития пищевой и перерабатывающей промышленности, необходимо разработать и реализовать региональные программы по развитию агробιοтехнологий и пищевых биотехнологий до 2030 года, что будет способствовать переходу отрасли на шестой технологический уклад. В настоящее время такая программа есть только в Алтайском крае.

На муниципальном уровне управления целесообразно разработать программы по развитию малых предприятий пищевой и перерабатывающей промышленности на основе использования местного сельскохозяйственного сырья, развития (возрождения) заготовительной деятельности, организации переработки дикоросов. В этом плане является привлекательным изучение опыта малого и среднего предпринимательства в Азербайджанской Республике [13]. Кроме того, перспективным представляется развитие сельскохозяйственной кооперации [26, 27], которая способна играть важную роль в расширении местного аграрного производства, содействии заготовке и переработке дикоросов и формировании пищевых производств, ориентированных на локальный рынок.

6) В СФО необходимо создать единую цифровую платформу по инновационному развитию пищевой и перерабатывающей промышленности АПК.

В рамках развития научно-технологической политики Правительства РФ создаются отраслевые центры компетенций по каждому направлению

экономики, а также единые цифровые платформы, объединяющие результаты интеллектуальной деятельности, созданные на площадках НИИ и вузов. Это позволит быстрее удовлетворять потребности предприятий реального сектора в новых технологиях. СФО обладает в сфере АПК значительным научно-техническим потенциалом, поэтому способен создать собственную цифровую платформу.

### **Рекомендации по развитию сельскохозяйственного производства в Сибири**

Важной задачей при развитии сельскохозяйственных производств является разработка организационно-технических регламентов возделывания агрокультуры. Организационно-технологический регламент возделывания агрокультуры – это инструкция к стандарту возделывания, регламентирующая факторы и условия для его внедрения. Например, природно-климатический, почвенный и т.д. Ниже нами будет предложен такой регламент для рапса.

Организационно-технологические регламенты, нормативы и стандарты для инновационного развития отрасли растениеводства уже являются экономически обоснованными категориями. Поэтому, сущность экономического обоснования организационно-технологических регламентов, нормативов и стандартов для инновационного развития отрасли растениеводства, заключается в процессе их разработки.

За основу взяты принципы экономического обоснования ресурсосберегающих агротехнологий в растениеводстве [10]. Добавлен блок по анализу экологичности применяемых средств химизации при возделывании агрокультур (табл. 6).

Предлагаемая методика состоит из трех уровней экономического обоснования ресурсосберегающих агротехнологий для отрасли растениеводства: вербальный, аналитический и нормативный (рис. 1).

Адаптируя аспект экологизации агротехнологий в системе экономического обоснования современных организационно-технологических регламентов, нормативов и стандартов предложено в данном процессе выявлять классы опасности применяемых средств защиты растений [18, 34].

Алгоритм методики отработан на примере масличного рапса. Данный подход даст возможность при необходимости нивелировать агротехническими приёмами с целью снижения экологической нагрузки на агробиоценоз.

Таблица 6.

**Система факторов формирования современных регламентов,  
стандартов и нормативов в растениеводстве**

Факторы и условия инновационного технологического перевооружения растениеводства				
ФАКТОРЫ				
Технологические факторы	Технические факторы	Биологические факторы	Организационно-экономические факторы	Экологические факторы
минимизация механической обработки почвы, вызывающей распад органического вещества и способствующей снижению естественного плодородия почвы. Внедрение адаптивно-ландшафтной	Совершенствование системы технического обеспечения	Повышение генетического потенциала растений путем усовершенствования селекционной работы. Сорт обновление и сортомена, выведение новых высокоурожайных сортов и гибридов сельскохозяйственных культур	повышение инвестиционной привлекательности отрасли растениеводства	совершенствование приёмов против эрозии почв, химического загрязнения верхнего слоя земли и водоёмов
интегрированная защита растений от вредных организмов на основании экономических порог вредоносности	применение многофункциональных высокопроизводительных машин и оборудования	Разработка новых биологических экологически безопасных препаратов для оптимизации питания и защиты растений от вредителей и болезней	развитое консультирование и привлечение узких специалистов (аутсорсинг) для внедрения инноваций и технологического перевооружения в растениеводстве	разработка мер против уничтожения некоторых видов животных и растений
дифференцированное внесение минеральных удобрений, использование в производстве новых форм удобрений (КАС, ЖКУ, Аммиак). Применение новых способов внесения удобрений в течение вегетации (внекорневые подкормки в критические для культур фазы развития, использование Ликвилайзера для внесения КАСа в почву	цифровизация производства	разведение и внедрение в растениеводство энтомофагов – хищников и паразитов, опасных для насекомых-вредителей, влияющих на естественное регулирование их численности. Посев нектароносов для привлечения насекомых-опылителей.	благоприятное для аграриев налогообложение	внедрение биологических и агротехнологических приёмов снижения экологической нагрузки на агробиоценозы

Окончание табл. 6.

использование оригинальных семян сортов и гибридов высоких репродукции с высоких продуктивным потенциалом, в том числе, иностранной селекции	Формирование оптимального научно-обоснованного машинно-тракторного парка для каждого сельхозтоваро производителя		подготовка кадров, обладающих необходимыми компетенциями в области организации и управления инновационными процессами в отрасли	
внедрение в растениеводство новых культур, разработка на их основе эффективного севооборота или плодосмена	внедрение автоматизации и контроля за технологическими процессами в растениеводстве		обеспечение стабильной регуляторной среды и правового обеспечения	
			государственная финансовая поддержка и стимулирование развития научно-технического прогресса	
			доступность кредитных ресурсов	
			создание инновационной инфраструктуры и доведение инновационных разработок до производства	

*Алгоритм формирования организационно-технологических регламентов при производстве рапса.* В России в 2022 году рапс возделывался на площади более 2339 млн. га, в результате, ожидаемый валовый сбор маслосемян должен составить 4 млн. тонн при средней урожайности 1,7 т/га. В Новосибирской области в сезоне 2022 года рапс на маслосемена возделывался на площади 149,105 тыс. га или 6,3% от всей областной посевной площади. Аграриями региона получена урожайность 1,47 т/га.

Популярность данной культуры среди аграриев обусловлена высокой востребованностью маслосемян во многих отраслях экономики. Главной

причиной ежегодного роста посевных площадей рапса является высокая экономическая эффективность при производстве маслосемян (в 2019-2021 гг. рентабельность достигала 250-300%). В сезоне 2022 года, вследствие введения экспортных пошлин на маслосемена и ряда других причин закупочная цена на рапс опустилась более чем в 2 раза, что на фоне дорожающих средств производства, резко снизит экономическую эффективность возделывания этой культуры.



**Рис. 1.** Методика экономического обоснования современных организационно-технологических регламентов, нормативов и стандартов для инновационного развития отрасли растениеводства

Рапс является ценной технической масличной культурой. В его семенах содержится 40-50% масла и 22-29% протеина. В результате внедрения в производство форм с низким содержанием эруковой кислоты в масле и глюкозинолатов в жмыхе рапс занял ведущее место среди масличных культур. Рапс – ценная кормовая культура, его растительная масса, жмых и шрот содержат высокое количество протеина. Кроме того, рапс служит сырьем при производстве биодизеля и смазочных материалов, а также в фармацевтической и oleохимической промышленности. Возделывание рапса имеет большое агротехническое и экологическое значение.

Несмотря на большое количество плюсов для выбора в пользу выращивания рапса, он является достаточно сложной культурой для возделывания

и требует строгого соблюдения всех технологических особенностей. В связи с этим, особое значение приобретает обоснование стандартов возделывания рапса и его составных элементов. Исходя из биологических и технологических особенностей этой масличной культуры структура стандартов технологии возделывания состоит из таких элементов технологии как подбор предшественника, посева, оптимизации питания и защиты растений, а также уборки урожая.

По агроклиматическому районированию в Новосибирской области для возделывания рапса подходит большинство районов региона. Основные посевные площади этой культуры приходятся на Краснозерский, Коченевский, Искитимский, Тогучинский районы.

Основной предшественник рапса в регионе – это зерновые культуры и различные виды пара (химический, сидеральный и тд). Главный критерий при выборе предшественника для рапса – низкая степень засоренности полей. Рапс плохо растет на малоплодородных, легких и солонцеватых почвах. При выборе полей под рапс нужно избегать последствия гербицидов, применяемых на предшествующей культуре, например метсульфурон-метила. Возможны различные способы механической обработки почвы, способствующие лучшему влагосбережению и влагонакоплению. Очень важна правильная подготовка паров, которая в дальнейшем скажется на итоговой продуктивности. Наиболее эффективным способом подготовки пара в наших условиях является сочетание химических (глифосат) и механических обработок почвы. В целом, стандартом такого технологического элемента как выбор предшественника является возделывание рапса по зерновым культурам, прежде всего пшеницы. Это обосновано с технологической, экономической и экологической точек зрения. Размещение рапса после зерновых культур способствует повышению фитосанитарной роли севооборота и практикуется в основном в хозяйствах с высокоинтенсивным типом производства. В более экономически слабых хозяйствах, где нет возможности полного соблюдения технологии выращивания, предшественником рапса являются различные виды пара [1].

Процесс посева является самым важным элементом технологии при возделывании всех мелкосемянных культур, в том числе и рапса. Определение правильного способа и сроков посева, соблюдение заданной нормы высева и глубины заделки семян являются залогом получения оптимальной густоты стеблестоя и в дальнейшем хорошего урожая. В последние годы для производства предлагается большой ассортимент сортов и гибридов рапса. Распространение получили такие сорта сибирской селекции как

Юбилейный, Гранит, Регион 55 и другие. Грамотный подбор сортов гибридов по группам спелости снижает напряженность работ во время посевной компании, в дальнейшем по вегетации и в последующем при уборке культуры. В среднем, в условиях Западной Сибири, гибриды превышают по урожайности линейные сорта на 0,4-0,5 и более т/га. Сложным остается вопрос с определением оптимальных сроков сева рапса. Рапс является культурой длинного светового дня и соответственно требует раннего срока посева (при позднем сроке вегетативное развитие проходит хуже). Смещение осадков на вторую половину лета, которое отмечается уже на протяжении нескольких сезонов позволяет получать хороший урожай рапса и при поздних сроках посева. Однако, при затягивании со сроками сева существует высокий риск потерь при уборке из-за ухудшения погодных условий осенью. Кроме того, существует риск дополнительного иссушения почвы при поздних сроках, что может в последствие привести к изреженным всходам. Таким образом, на основании многолетних данных из разных климатических зон нашего региона следует, что технологическим стандартом срока посева рапса в Новосибирской области является первая половина мая. Оптимальная температура почвы и количество сохраненной весенней влаги в этот период позволяет получить всходы требуемой густоты и в далее проводить уход за посевами культуры, согласно выбранной технологии.

В Новосибирской области, как и в целом по стране, также отмечается положительная динамика применения различных видов удобрений. За период с 2019 года объем потребления минеральных удобрений в НСО увеличился в пересчете на д.в. с 27 тыс. тонн (2019 г) до 80 тыс. тонн в 2022 году. Однако, несмотря на ежегодный рост объемов использования удобрений, уровень их применения в перерасчете на посевную площадь остается на невысоком уровне, по сравнению с европейской частью России.

Дозировки удобрений рассчитываются исходя из наличия питательных веществ в почве и потребности растений в них с учетом запланированной урожайности. Особое значение при этом имеет агрохимический анализ почвы, который позволяет определить уровень обеспеченности почвы элементами питания и спланировать приобретение минеральных удобрений.

Сбалансированное питание рапса является очень важным элементом технологии. Яровой рапс выносит из почвы главных элементов питания в 1,5 раза больше, чем пшеница и другие зерновые культуры, что необходимо учитывать при расчете доз минеральных удобрений. Кроме того, в течение вегетации рапсу необходим такой меззоэлемент как сера, а из

микроэлементов необходим, прежде всего, бор, магний и марганец. Рапс, как и большинство капустовых культур хорошо отзывается на внесение органических удобрений как непосредственно под него, так и на последствие от органических удобрений, внесенных под культуру-предшественник. Для рапса очень важно наличие достаточного количества азота в течение всей вегетации. Удобрение азотом производится, как правило, в два приема: первый – при посеве, второй – в период начала стеблевания. Кроме того, проводится дополнительное внесение карбамида с химическими обработками в первой половине вегетации. При более позднем внесении азота можно не получить нужного результата, так как внесенный в эти сроки азот в меньшей степени усваивается растениями и не увеличивает урожайность культуры. Рапс хорошо отзывается на обработки микроэлементами, которые совмещаются с пестицидными обработками.

Сорняки, болезни и вредители способны в значительной мере снизить урожайность рапса, а в отдельных случаях и полностью уничтожить его посевы. Начиная с посева семян в почву различные группы вредных организмов оказывают отрицательное действие на культуру, снижая количество и качество всходов, что в дальнейшем влияет на продуктивность рапса.

Наиболее опасными видами вредных организмов для рапса считаются насекомые-вредители. На рапсе зарегистрировано более 30 видов вредителей и все они имеют экономическое значение. Прежде всего это крестоцветные блошки, рапсовый цветоед, виды клопов и другие. Главной проблемой при возделывании рапса в последние годы является капустная моль. Данный вредитель очень сильно снижает продуктивность рапса, а иногда и практически полностью съедает посевы. Защита рапса от вредителей начинается с протравливания семян различными инсектицидами, в основном на основе тиаметоксама и имидаклоприда. Однако, ввиду трудоемкости процесса данный вид работ проводится на семенных предприятиях и заводах, где мелкие семена культуры подвергаются более качественной химической обработке и инкрустируются. Стоимость обработки посевного материала зависит от типа препарата и как правило уже входит в стоимость семян. В дальнейшем в течение вегетации проводятся как минимум 3 (а в годы массового развития капустной моли до 7 раз) инсектицидных обработки в фазы всходов, перед и после цветения рапса, в основном инсектицидами из классов перитроида и неоникотиноиды. Стоимость инсектицидных обработок при обычных условиях года (без массовых вспышек вредителей) составляет 550-600 руб/га. В случае сильного развития капустной моли и других видов стоимость обработок воз-

растает до 3000 тысяч руб/га. Борьба сорняками при возделывании рапса также имеет свои особенности.

Снижение численности сорняков нужно добиваться не в посевах рапса, а в парах, в предшествующей культуре, до посева или после уборки. По нулевой технологии проводится обработка полей препаратами на основе глифосата до всходов культуры. Почвенные гербициды из-за слабого почвенного экрана при весенних засухах имеют слабое распространение в условиях Сибири. По вегетации стандартом для хозяйств, работающих с линейными сортами рапса, является применение гербицидов на основе клопиралида и пиклорама от двудольных сорняков и галоксифоп-р-метила, квазилофоп-П-тефурила и клетодима от однодольных видов. В случае возделывания гибридов по технологии Clearfield аграрии используют высокоэффективный гербицид Нопасаран на основе метазахлора и имазамокса, применение которого позволяет значительно снизить засоренность посевов. Гектарная стоимость гербицидной обработки составляет 2625 руб/га по классической технологии и 4800 рублей по технологии Clearfield. В случае прямого посева в стерню по нулевой технологии стоимость химической прополки посевов рапса увеличивается на 2400 руб/га из-за использования гербицида сплошного действия на основе глифосата.

Большие потери урожая бывают при созревании при растрескивании стручков. Современные линейные сорта осыпаются сильнее чем гибриды, что необходимо учитывать во время уборочной компании.

Сигналом к началу уборки служит черный или черно-коричневый цвет семян, их твердое состояние. Стебли и стручки должны иметь характерный серо-желтый цвет, небольшая часть стручков в верхнем ярусе может быть раскрытой, но эти потери минимальны и компенсируются урожаем в среднем и нижнем ярусах, где семена культуры достигают необходимой для прямой уборки влажности.

При сильном засорении и критически неравномерном созревании рапса рекомендуется проведение десикации. В основном применяются препараты на основе диквата, гектарная стоимость обработки которыми составляет 1800 руб/га.

При невозможности проведения десикации рекомендуется отдельная уборка. В этом случае необходимо учитывать погодные условия осени и не косить рапс в валки при поздних сроках, когда дозревание культуры уже не происходит. В таких случаях на корню у рапса есть больше шансов вызреть. В момент свала семена должны принять черную, коричневую и светло-коричневую окраску, при надавливании делиться на две части,

влажность семян должна быть 30-35%, стручки должны быть не светлее желто-лимонного цвета. Высота среза при всех видах уборки рапса, должна быть максимальной. Это влияет на экономию ресурсов и потери при комбайнировании и позволяет повысить скорость уборки.

### **Заключение**

Существующий на сегодня уровень потребления продуктов питания в районах севера Сибири не в полной мере соответствует современным нормам и физиологическим потребностям населения с учетом их национальных и этнических особенностей. Физическую и экономическую доступность продуктов питания для каждого гражданина, проживающего на этих территориях, необходимо рассматривать не только за счет северного завоза – гарантированного обеспечения населенных пунктов продовольствием, но и за счет развития регионального производства отраслей сельского хозяйства.

Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности АПК Сибирского федерального округа происходит достаточно медленно. Обеспечение экономической продовольственной безопасности в СФО по наиболее значимым продовольственным товарам не достигнуто, наблюдается белковое голодание населения на протяжении последних десяти лет, особенно по молочной и мясной продукции. Пищевая промышленность имеет свободные мощности, так как загрузка в мясной и молочной не превышает 50% по большинству предприятий. Наблюдается нехватка сельскохозяйственного сырья в данных отраслях, а также импортозависимость от пищевых ингредиентов. На формирование экономической продовольственной безопасности отрицательно влияет снижение реального уровня доходов населения СФО. Учитывая сложившуюся ситуацию, разработаны научные положения по совершенствованию организационно-экономического механизма инновационного развития пищевой и перерабатывающей промышленности с целью обеспечения продовольственной безопасности в Сибири.

Предложена методика обоснования современных организационно-технологических регламентов, нормативов и стандартов для инновационного развития отрасли растениеводства с учетом экологических аспектов. Результаты разработки нормативов для производства рапса в условиях Новосибирской области показали, что большая доля затрат при интенсивной технологии ложится на минеральные удобрения и средства защиты растений. При малой интенсивной технологии требуются больше затрат на механизированные работы.

### *Список литературы*

1. Агротехника масличных культур в засушливых зонах. Под общей редакцией Н.Н. Латышева. Нур-Султан: журнал Аграрный сектор, 2021. 336 с.
2. Анищенко А.Н., Шутьков А.А. Проблемы реализации Доктрины продовольственной безопасности России // Продовольственная политика и безопасность. 2021. Том 8. № 1. С. 9-22. <https://doi.org/10.18334/ppib.8.1.111777>
3. 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>
4. Борисова О.В., Быков А.А. Взаимное влияние АПК Сибири и центральноазиатских стран на формирование продовольственного рынка // Фундаментальные исследования. 2020. №6 С. 16-20.
5. Быков А.А. Развитие экспорта продуктов растительного происхождения из регионов Сибири / А.А. Быков, О.В. Борисова // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 5 (95). С. 17–21. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.95.5.039>
6. Указ Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20 “Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации”. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425>
7. В мае продолжилось падение второй месяц подряд Индекса продовольственных цен ФАО // Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций. <https://www.fao.org/worldfoodsituation/foodpricesindex/ru/>
8. Головкина С. И. Продовольственная безопасность мира: теория и практика на примере России и Европы / С. И. Головкина, Е. Ю. Иванов // Актуальные проблемы науки и практики. 2016. № 4(005). С. 10-17.
9. Головкина С.И. Импортзамещение в РФ в контексте государственной стратегии и реализации в российском продовольственном комплексе / С.И. Головкина, Н.А. Козлова // Экономика и предпринимательство. 2017. № 5-2(82). С. 644-649.
10. Деревянкин А.В. Захаров А.Ф. Методика экономического обоснования агротехнологий в растениеводстве // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2019. № 10. С. 37-40.
11. Договор о Евразийском экономическом союзе (Подписан в г. Астане 29.05.2014). [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_163855/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_163855/)
12. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации: утверждена Указом Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425/>

13. Казымова А.Х. кызы Современные направления пищевой промышленности в развитии ненефтяного сектора Азербайджана // Российское предпринимательство. 2018. Том 19. № 7. С. 2029-2042. <https://doi.org/10.18334/rp.19.7.39245>
14. Карманова А. Е. Исторические предпосылки освоения и развития арктической зоны Российской Федерации / А.Е. Карманова, Л.Г. Десфонтейнес, Т.С. Хныкина // Международный научный журнал. 2021. № 1. С. 74-80. <https://doi.org/10.34286/1995-4638-2021-76-1-74-80>
15. 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>
16. Обеспечение продовольственной безопасности регионов Сибири / П.М. Першукевич [и др.] под ред П.М. Першукевича, Л.В. Тю. Рос. акад. наук, Сиб.отд-ние, Федер. агентство науч. организаций. Сиб. федер. науч. центр агробиотехн., Сиб. НИИ экон. сел. хоз-ва. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2016. 148 с.
17. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2021: Стат. сб. / Рос-стат. М., 2021. 1112 с.
18. Стельмашонок Е.В. Цифровая трансформация агропромышленного комплекса: анализ перспектив / Е.В. Стельмашонок, В.Л. Стельмашонок // 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>
19. Шарыпова О.А. Продовольственное самообеспечение Магаданской области в контексте вызовов развития региональной продовольственной системы // Региональная экономика: теория и практика. 2022. Т. 20, № 12(507). С. 2295-2316. <https://doi.org/10.24891/re.20.12.2295>
20. Amirova E.F., Gavrilyeva N.K., Romanishina T.S., Asfandiarova R.A. On the problem of the development of 'sustainable' agriculture in modern economic realities // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Vol. 14(3). P. 392-406. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-392-406>
21. Belyanina I.V., Mindlin Y.B., Mityashin G.Y. Enhancing public-private partnership efficiency by using life cycle contracts: A conceptual approach // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 650(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/650/1/012033>
22. Butakova M.M., Sokolova O.N., Churina L.I. Export of agro-industrial products of Russia: new opportunities and development problems // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Vol. 14(3). P. 342-354. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-342-354>

23. 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 / Popkova, E. (eds) // *The Impact of Information on Modern Humans. HOSMC 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 622. Springer, Cham. 2018. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-75383-6\\_68](https://doi.org/10.1007/978-3-319-75383-6_68)
24. Ikramov R., Mityashin G., Bakharev V. Waste-free stores in Russia: A retrospective analysis, criticism, and analysis of the visitor's attitude // *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 284. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128411016>
25. Korableva O.N., Gorelov N., Kalimullina O. Contemporary Issues of Intellectual Capital: Bibliographic Analysis / Liyanage, J., Amadi-Echendu, J., Mathew, J. (eds) // *Engineering Assets and Public Infrastructures in the Age of Digitalization. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. 2020. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-48021-9\\_51](https://doi.org/10.1007/978-3-030-48021-9_51)
26. Kotliarov I. A taxonomy of business organizations: Transport industry and beyond // *Transportation Research Procedia*. 2022. Vol. 63. P. 2165-2171. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.243>
27. Kotliarov I. Heterogeneity of stakeholders as an obstacle to the development of cooperatives in Russia // *The Russian Peasant Studies*. 2022. V. 7. №4. P. 20-32. <https://doi.org/10.22394/2500-1809-2022-7-4-20-32>
28. Kovaleva E.A., Ivanyo Y.M. Management models of agrarian production taking into account natural and technogenic impacts on the environment // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022. Vol. 14(3). P. 24-39. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-24-39>
29. Korableva O.N., Mityakova V.N., Kalimullina O.V. Designing a decision support system for predicting innovation activity. Paper presented at the ICEIS 2020 // *Proceedings of the 22nd International Conference on Enterprise Information Systems*. 2020. Vol. 1. P. 619-625.
30. 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. Vol. 949(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/949/1/012125>
31. Nikulin A.N., Mrackova E., Brovchenko I.V., Samarin D.O., Kudinov V.V. Practical approach to assessment of effectiveness and efficiency of management systems for occupational safety // *Journal of Applied Engineering Science*. 2022. Vol. 20(4). P. 1263-1270. <https://doi.org/10.5937/jaes0-38899>
32. 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). P. 139-153. <https://doi.org/10.1108/IJSSP-03-2020-0074>

33. Plotnikov A., Vorobets T., Urasova A. An analysis of factors influencing the development of self-employment digitalization based on fuzzy logic // Journal of Applied Engineering Science. 2022. Vol. 20(3). P. 808-820. <https://doi.org/10.5937/jaes0-37543>
34. Yakovleva A.A., Movchan I.B., Shaygallyamova Z.I. Dynamic response of multi-scale geophysical systems: Waves and practical applications // Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 2022. Vol. 380(2237). <https://doi.org/10.1098/rsta.2021.0403>
35. Yi F., Gudaj R.T., Arefieva V., Yanbykh R., Mishchuk S., Potenko T.A., . . . Zurenko I. Chinese migrant farmers in the Russian far east: Impact on rural labor markets // American Journal of Economics and Sociology. 2020. Vol. 79(5). P. 1455-1482. <https://doi.org/10.1111/ajes.12363>

### References

1. *Agrotekhnika maslichnykh kul'tur v zasushlivykh zonakh* [Agricultural technology of oilseeds in arid zones]. Ed. N.N. Latyshev. Nur-Sultan: Agrarian sector, 2021, 336 p.
2. Anishchenko A.N., Shut'kov A.A. *Prodovol'stvennaya politika i bezopasnost'*, 2021, vol. 8, no. 1, pp. 9-22. <https://doi.org/10.18334/ppib.8.1.111777>
3. Bakharev V. V., Kapustina I. V., Mityashin G. Yu., Katrashova Yu. V. *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>
4. Borisova O.V., Bykov A.A. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2020, no. 6, pp. 16-20.
5. Bykov A.A., Borisova O.V. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2020, no. 5 (95), pp. 17-21. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.95.5.039>
6. Decree of the President of the Russian Federation of January 21, 2020 No. 20 "On Approval of the Food Security Doctrine of the Russian Federation". URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425>
7. The FAO Food Price Index continued to fall for the second consecutive month in May / Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/worldfoodsituation/foodpricesindex/ru/>
8. Golovkina S.I., Ivanov E.Yu. *Aktual'nye problemy nauki i praktiki*, 2016, no. 4(005), pp. 10-17.
9. Golovkina S.I., Kozlova N.A. *Ekonomika i predprinimatel'stvo*, 2017, no. 5-2(82), pp. 644-649.
10. Derevyankin A.V., Zakharov A.F. *Ekonomika sel'skokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy*, 2019, no. 10, pp. 37-40.

11. Treaty on the Eurasian Economic Union (Signed in Astana on May 29, 2014). [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_163855/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_163855/)
12. Doctrine of food security of the Russian Federation: approved by Decree of the President of the Russian Federation of January 21, 2020 No. 20. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425/>
13. Kazymova A.Kh. *kyzy Rossiyskoe predprinimatel'stvo*, 2018, vol. 19, no. 7, pp. 2029-2042. <https://doi.org/10.18334/rp.19.7.39245>
14. Karmanova A.E., Desfonteynes L.G., Khnykina T.S. *Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal*, 2021, no. 1, pp. 74-80. <https://doi.org/10.34286/1995-4638-2021-76-1-74-80>
15. Mityashin G. Yu. *Vestnik NGIEI*, 2022, no. 9(136), pp. 120-135. <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-9-120-135>
16. *Obespechenie prodovol'stvennoy bezopasnosti regionov Sibiri* [Ensuring food security of Siberian regions] / P.M. Pershukevich [et al.], eds. P.M. Pershukevich, L.V. Tyu. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2016, 148 p.
17. *Regiony Rossii. Sotsial'no-ekonomicheskie pokazateli. 2021: Stat. sb.* [Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2021: Stat. Sat.] / Rosstat. M., 2021, 1112 p.
18. Stel'mashonok E.V., Stel'mashonok V.L. *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>
19. Sharypova O.A. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika*, 2022, vol. 20, no. 12(507), pp. 2295-2316. <https://doi.org/10.24891/re.20.12.2295>
20. Amirova E.F., Gavrilyeva N.K., Romanishina T.S., Asfandiarova R.A. On the problem of the development of 'sustainable' agriculture in modern economic realities. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14(3), pp. 392-406. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-392-406>
21. Belyanina I.V., Mindlin Y.B., Mityashin G.Y. Enhancing public-private partnership efficiency by using life cycle contracts: A conceptual approach. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 650(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/650/1/012033>
22. Butakova M.M., Sokolova O.N., Churina L.I. Export of agro-industrial products of Russia: new opportunities and development problems. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14(3), pp. 342-354. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-342-354>
23. 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 / Popkova, E. (eds). *The Impact of Information on Modern Humans. HOSMC 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 622. Springer, Cham. 2018. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-75383-6\\_68](https://doi.org/10.1007/978-3-319-75383-6_68)

24. Ikramov R., Mityashin G., Bakharev V. Waste-free stores in Russia: A retrospective analysis, criticism, and analysis of the visitor's attitude. *E3S Web of Conferences*, 2021, vol. 284. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128411016>
25. Korableva O.N., Gorelov N., Kalimullina O. Contemporary Issues of Intellectual Capital: Bibliographic Analysis / Liyanage, J., Amadi-Echendu, J., Mathew, J. (eds). *Engineering Assets and Public Infrastructures in the Age of Digitalization. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. 2020. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-48021-9\\_51](https://doi.org/10.1007/978-3-030-48021-9_51)
26. 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>
27. Kotliarov I. Heterogeneity of stakeholders as an obstacle to the development of cooperatives in Russia. *The Russian Peasant Studies*, 2022, vol. 7, no. 4, pp. 20-32. <https://doi.org/10.22394/2500-1809-2022-7-4-20-32>
28. Kovaleva E.A., Ivanyo Y.M. Management models of agrarian production taking into account natural and technogenic impacts on the environment. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14(3), pp. 24-39. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-24-39>
29. Korableva O.N., Mityakova V.N., Kalimullina O.V. Designing a decision support system for predicting innovation activity. Paper presented at the ICEIS 2020. *Proceedings of the 22nd International Conference on Enterprise Information Systems*, 2020, vol. 1, pp. 619-625.
30. 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, vol. 949(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/949/1/012125>
31. Nikulin A.N., Mrackova E., Brovchenko I.V., Samarin D.O., Kudinov V.V. Practical approach to assessment of effectiveness and efficiency of management systems for occupational safety. *Journal of Applied Engineering Science*, 2022, vol. 20(4), pp. 1263-1270. <https://doi.org/10.5937/jaes0-38899>
32. 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>
33. Plotnikov A., Vorobets T., Urasova A. An analysis of factors influencing the development of self-employment digitalization based on fuzzy logic. *Journal of Applied Engineering Science*, 2022, vol. 20(3), pp. 808-820. <https://doi.org/10.5937/jaes0-37543>

34. Yakovleva A.A., Movchan I.B., Shaygallyamova Z.I. Dynamic response of multi-scale geophysical systems: Waves and practical applications. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 2022, vol. 380(2237). <https://doi.org/10.1098/rsta.2021.0403>
35. Yi F., Gudaj R.T., Arefieva V., Yanbykh R., Mishchuk S., Potenko T.A., . . . Zuenko I. Chinese migrant farmers in the Russian far east: Impact on rural labor markets. *American Journal of Economics and Sociology*, 2020, vol. 79(5), pp. 1455-1482. <https://doi.org/10.1111/ajes.12363>

### ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

**Абдуллаев Илѐс Султанович**, доктор экономических наук, профессор, декан факультета экономики, кафедра менеджмента и маркетинга  
*Ургенцкий государственный университет*  
ул. Х. Олимжона, 14, г. Ургенч, 220100, Узбекистан  
[aem735@mail.ru](mailto:aem735@mail.ru)

**Курбанов Парвиз Ахмед оглы**, кандидат экономических наук, профессор, кафедра статистики и таможенного дела  
*Азербайджанский университет кооперации*  
ул. Наджафа Нариманова, 93, г. Баку, AZ1029, Азербайджан  
[prof2597@gmail.com](mailto:prof2597@gmail.com)

**Алешко Роман Александрович**, кандидат технических наук, профессор кафедры информационных систем и технологий  
*Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова*  
Набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация  
[r.aleshko@gmail.com](mailto:r.aleshko@gmail.com)

**Финогорова Юлия Юрьевна**, доктор экономических наук, профессор кафедры государственных и муниципальных финансов  
*Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова*  
Стремянный пер., 36, г. Москва, 113054, Российская Федерация  
[Finogenova.YY@rea.ru](mailto:Finogenova.YY@rea.ru)

### DATA ABOUT THE AUTHORS

**Pyos S. Abdullaev**, Doctor of Economic Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Economics, Department of Management and Marketing

*Urgench State University*  
*25, Olimjon Str., Urgench, 220100, Uzbekistan*  
*aem735@mail.ru*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9601-7434>*

**Parviz A. Gurbanov**, PhD in Economics, Professor, Department of Statistics and Customs  
*Azerbaijan University of Cooperation*  
*93, Najaf Narimanov Str., Baku, AZ1029, Azerbaijan*  
*prof2597@gmail.com*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2124-8780>*

**Roman A. Aleshko**, Cand.Sc. in Engineering, Professor of the Department of Information Systems and Technologies  
*Northern (Arctic) Federal University*  
*17, Northern Dvina emb., Arkhangelsk, 163002, Russian Federation*  
*r.aleshko@gmail.com*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1235-8937>*

**Yulia Yu. Finogenova**, Doctor of Economic Sciences, Professor, Department of State and Municipal Finance  
*Plekhanov Russian University of Economics*  
*Finogenova.YY@rea.ru*  
*36, Stremyanny per., Moscow, 113054, Russian Federation*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3336-927X>*

Поступила 10.02.2023

Received 10.02.2023

После рецензирования 20.02.2023, 05.03.2023

Revised 29.04.2022, 05.03.2023

Принята 18.03.2023

Accepted 18.03.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-387-408

УДК 338.43



Научная статья | Экономика сельского хозяйства

## УЛУЧШЕНИЕ УСЛОВИЙ ТРУДА В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ ПУТЕМ ФОРМИРОВАНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ АГРАРНО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

*В.И. Куц, М.В. Абушенкова,  
П.В. Журавлев, В.С. Курносос*

***Актуальность исследования.** Инфраструктура сельских поселений оказывает значительное влияние на качество жизни сельского населения и, как следствие, на развитие инфраструктуры АПК.*

***Цель работы.** Целью настоящего исследования является разработка научно-методических положений по совершенствованию инфраструктуры обслуживания АПК.*

***Материалы и методы.** Методика исследования включает библиографический анализ, а также анализ статистических данных. Для выявления наиболее значимых факторов для рядовых работников АПК используется метод экспертных оценок.*

***Результаты.** Углубленные исследования проведены по организациям АПК Алтайского края. В основной части статьи определены внешние и внутренние факторы, определяющие качество условий труда в сельском хозяйстве. Используя метод экспертных оценок, выявлены наиболее значимые факторы для рядовых работников АПК. С целью внедрения цифровизации в АПК рассмотрены программно-аппаратные беспилотные комплексы, предназначенные для выполнения определенных функций в растениеводстве. Описаны цифровые решения, предназначенные для выполнения функций взаимодействия с поставщиками, потребителями и транспортировки продукции АПК. Рассмотрены вопросы экологической безопасности рабочих мест в АПК.*

***Заключение.** Выявлено, что для эффективного развития инфраструктуры сельских поселений в качестве инструмента повышения качества жизни сельского населения необходимо отказаться от политики максимального охвата в пользу политики концентрации усилий на определённой территории*

на основе комплексного плана, охватывающего все сферы жизни общества и вовлекающего в его реализацию отраслевые органы власти в рамках единого проекта.

**Ключевые слова:** аграрно-промышленный комплекс; условия труда; факторы; цифровые технологии; направления развития

**Для цитирования.** Куц В.И., Абушенкова М.В., Журавлев П.В., Курносов В.С. Улучшение условий труда в сельской местности путем формирования инфраструктуры обслуживания аграрно-промышленного комплекса // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №3. С. 387-408. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-387-408

Original article | Agricultural Economics

## IMPROVEMENT OF WORKING CONDITIONS IN RURAL AREAS THROUGH THE FORMATION OF INFRASTRUCTURE FOR AGRICULTURAL SERVICES

*V.I. Kuts, M.V. Abushenkova,  
P.V. Zhuravlev, V.S. Kurnosov*

**Relevance of the study.** *The infrastructure of rural settlements has a significant impact on the quality of life of the rural population and, as a result, on the development of the infrastructure of the agro-industrial complex.*

**Objective.** *The purpose of this study is to develop scientific and methodological provisions for improving the infrastructure of agricultural services.*

**Materials and methods.** *The research methodology includes bibliographic analysis, as well as analysis of statistical data. To identify the most significant factors for ordinary agricultural workers, the method of expert assessments is used.*

**Results.** *Studies have been conducted on the agro-industrial complex organizations of the Altai Territory. The main part of the article identifies external and internal factors that determine the quality of working conditions in agriculture. Using the method of expert assessments, the most significant factors for ordinary agricultural workers were identified. In order to introduce digitalization in the agro-industrial complex, software and hardware unmanned complexes designed to perform certain functions in crop production are considered. Digital solutions designed to perform the functions of interaction with suppliers, consumers and*

*transportation of agricultural products are described. The issues of environmental safety of workplaces in the agro-industrial complex are considered.*

**Conclusion.** *It is revealed that in order to effectively develop the infrastructure of rural settlements as a tool to improve the quality of life of the rural population, it is necessary to abandon the policy of maximum coverage in favor of a policy of concentrating efforts on a certain territory on the basis of a comprehensive plan covering all spheres of society and involving sectoral authorities in its implementation within a single project.*

**Keywords:** *agro-industrial complex; working conditions; factors; digital technologies; development directions*

**For citation.** *Kuts V.I., Abushenkova M.V., Zhuravlev P.V., Kurnosov V.S. Improvement of Working Conditions in Rural Areas through the Formation of Infrastructure for Agricultural Services. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 387-408. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-387-408*

## **Введение**

Грамотное развитие инфраструктуры АПК является одним из условий для стимулирования роста входящих в него отраслей [5; 6]. Инфраструктура отечественного АПК, недостаточно соответствующая требованиям цифровизации [12], ограничивает возможности сельхозтоваропроизводителей и их доступ к различным ресурсам, делает процессы развития агропромышленного производства инерционными и препятствует развитию социальной сферы села.

Инфраструктура сельских поселений оказывает значительное влияние на качество жизни сельского населения, как в объективном, так и в субъективном аспекте [11; 12]. Объективное воздействие заключается в том, что население получает доступ к социально значимым услугам и другим благам современной цивилизации. Развитая инфраструктура также является непременным условием для возникновения промышленных предприятий, которые создают рабочие места и предоставляют населению источник дохода в виде зарплаты (и последующей пенсии) на уровне выше, чем традиционная для сельской местности сельскохозяйственная деятельность.

Субъективное воздействие заключается в повышении удовлетворённости сельского населения условиями жизни и труда [19-20]. В рассмотрении данного аспекта важны не только значения показателей, но и их динамика. При стагнации или ухудшении условий удовлетворённость людей может постепенно снижаться, особенно, если недалеко есть примеры более развитой инфраструктуры или положительной её динамики.

**Целью исследования** является разработка научно-методических положений по совершенствованию инфраструктуры обслуживания АПК Алтайского края.

Объект исследования – процессы развития организационно-экономических и социально-экономических отношений в системе производства и обеспечения продовольствием регионов Сибири [16].

Предметом исследования выступили тенденции, принципы, особенности, факторы, условия, модели, механизмы развития организационно-экономических и социально-экономических отношений в системе производства и обеспечения продовольствием регионов Сибири.

### **Методология**

В рамках обзора и анализа методических подходов к формированию инфраструктуры обслуживания агропромышленного производства в сельской местности нами исследованы научные разработки, посвященные исследованию данного вопроса, проведенные в 2018-2022 гг. в России. В основе системы отбора источников заложены библиографические реферативные базы данных, в которых индексируются статьи в российских научных журналах, в частности платформа eLIBRARY.RU. Выбранная тема исследования характеризуется четырьмя ключевым словами: производственная инфраструктура, рыночная инфраструктура, цифровизация, экологическая безопасность рабочего места. Анализ наукометрических баз РИНЦ и WoS с использованием больших данных (BigData) применительно к исследуемой теме показал, что с проблемами производственной и рыночной инфраструктуры для АПК связано не более 12% исследований, что свидетельствует о ее недостаточной изученности, социальной инфраструктуре села – около 0,5%. Изучение литературных источников, освещающих проблемы состояния рабочих мест, показал, что применительно к аграрному сектору они практически отсутствуют.

Научные разработки, посвященные исследованию методических подходов к формированию инфраструктуры обслуживания агропромышленного производства в сельских муниципальных образованиях, проведенные в 2018-2022 гг. за рубежом. По данному вопросу в основе системы выбора источников выбраны библиографические реферативные базы данных, в которых индексируются статьи в зарубежных научных журналах, в частности открытый идентификатор исследователя и участника Open Researcher and Contributor ID (Orcid). Задача состояла в том, чтобы помочь в данном исследовании переходу от науки к электронной науке, в которой научное

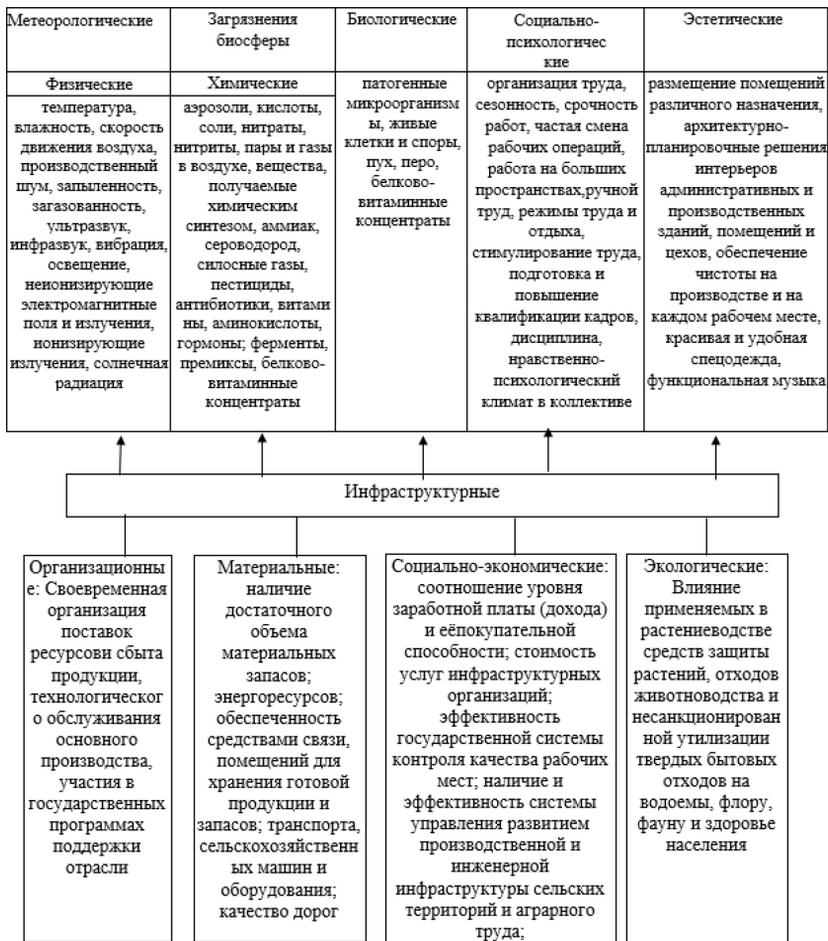
исследование текущего года может быть найдено для выявления обратных связей и идей, скрытых в постоянно растущем объеме научной литературы как отечественной, так и зарубежной. Для зарубежных авторов в последние 5 лет эта тема актуальной не стала.

В части анализа действующих нормативно-правовые акты государственного и муниципального уровней, включающих в той или иной степени методические рекомендации по формированию инфраструктуры обслуживания агропромышленного производства или её отдельных элементов в сельских муниципальных образованиях. Проведено сравнение содержания принятых документов, регулирующих и стимулирующих в той или иной мере формирование инфраструктуры обслуживания агропромышленного производства в сельских муниципальных образованиях, выявление соответствия между ними по целям, задачам, направлениям и другим показателям. В качестве правовой основы определения критериев оценки условий труда взят Федеральный закон «О специальной оценке условий труда» №426-ФЗ от 28.12.2013 г. (в ред. от 30.12.2020 г. с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2021 г.) [1]. По факту отсутствия таких документов из имеющейся нормативной базы выделены документы, имеющие отношение к формированию инфраструктуры (концепции, планы, программы и др.); определены взаимосвязи направлений формирования инфраструктуры обслуживания агропромышленного производства с современной политикой государства в отношении инфраструктурного развития; выявлено наличие в данных документах системы показателей (количественных и качественных), достижение которых позволяет установить уровень эффективности данной работы. Актуальность данного аспекта обусловлена тем, что цифровые технологии будут оказывать все большее влияние на характер труда через его оснащенность.

### **Результаты**

Основываясь на современной декомпозиции элементов инфраструктуры обслуживания производства, мы систематизировали их (рис. 1, верхняя часть) с тем, чтобы обосновать влияние на них внешних и внутренних факторов.

К внешним отнесены природно-климатические условия, от которых зависит сочетание отраслей сельского хозяйства территории [20]. Алтайский край расположен на юго-востоке Западной Сибири, на границе континентальной Азии в 3419 км от Москвы. Территория края составляет 168 тыс. кв. км, по площади занимает 21-е место в Российской Федерации и 6-е место в Сибирском федеральном округе.



**Рис. 1.** Факторы, определяющие качество условий труда в сельском хозяйстве (составлено с учетом нормативных документов Министерства труда РФ)

На севере край граничит с Новосибирской областью, на востоке – с Кемеровской областью, юго-восточная граница проходит с Республикой Алтай, на юго-западе и западе – государственная граница с Республикой Казахстан, протяженность которой 843,6 км. На начало 2022 года численность населения составила 2,3 млн. жителей (1,6% населения России). Отличительной особенностью региона является высокая доля сельско-

го населения – 42,6% (по России – 25,2%). Регион один из крупнейших аграрных регионов, располагающий значительными ресурсами сельскохозяйственных земель. Общая площадь земель сельскохозяйственного назначения в регионе на 01.01.2022 составила 11,53 млн. га, в том числе сельскохозяйственных угодий 10,6 млн. га, из них пашни – 6,57 млн. га. В крае преобладают два типа ландшафтов: на востоке – горный, на западе – равнинный. Для Алтайского края характерен богатый растительный и животный мир. В крае присутствуют почти все природные зоны России: степь и лесостепь, тайга, горы и богатые речные экосистемы [8]. С учётом природно-климатических и экономических показателей Госэкономсоветом при Совете Министров СССР было произведено комплексное районирование территории Алтайского края на семь природно-экономических зон, в каждой из которых свои условия ведения сельского хозяйства, свои культуры и т.п., структура организационно-правовых форм сельхозтоваропроизводителей и их взаимодействием на уровне региона и муниципальных образований [15; 21]; уровень материально-технического обеспечения и технического обслуживания сельскохозяйственного производства [13, 14, 21, 22]; преобладающие направления аграрной политики государства, ориентирующие товарные потоки продукции сельского хозяйства и пищевой промышленности. Сегодня это развитие экспорта, поэтому все усилия государства направлены на поддержку крупного бизнеса. В связи с чем стоит задача «вписать» малый бизнес в единую экспортную цепочку, а для этого нужна соответствующая инфраструктура [5, 7, 17, ]. Её наличию будет хорошо и для бизнеса, и для населения – появятся новые технологии, качество продукции вырастет, занятость на селе вырастет, увеличится уровень государственной поддержки, оказываемой инфраструктурным элементам на федеральном, региональном и муниципальном уровнях. За 2020 – 2021 годы на финансирование мероприятий по обустройству социальной сферы на селе направлено почти 5,0 млрд. рублей, из них более 1,2 млрд. рублей – из федерального бюджета, около 0,6 млрд. рублей – из регионального бюджета, 71,1 млн. рублей – из местных бюджетов и более 3,1 млрд. рублей из внебюджетных источников. В 2022 году была продолжена реализация общественно значимых проектов по благоустройству сельских территорий. С участием средств государственной поддержки реализован 51 проект стоимостью 94,6 млн. рублей (перевыполнение планового показателя составило 24,4%). В 2021 году в рамках ведомственной целевой программы «Современный облик сельских территорий» продолжалась реализация проекта «Комплексное развитие р.п. Тальменка Тальменского района

Алтайского края» [3]. Учитывая необходимость дальнейшей работы по сокращению темпов сельской миграции, диверсификации экономики поселений, развитию производств на селе и создания оптимальных условий для жизни сельских тружеников на территории региона реализуется государственная программа Алтайского края «Комплексное развитие сельских территорий Алтайского края». И каждый из этих факторов показал существенное влияние и на уровень обслуживания аграрного производства, и на условия труда жителей сельских муниципальных районов. В этой ситуации приходится искать механизмы вовлечения в сельские проекты средств местных предпринимателей и населения за счет нетривиальных механизмов, оправдавших своё использование.

Важнейшим внутренним фактором является заинтересованность и стремление самого агробизнеса к развитию и использованию созданных и созданию новых объектов инфраструктуры и оказываемых ими услуг [18]. При этом малый бизнес не готов платить за индивидуальное пользование цифровыми технологиями; кооперация не идет. Значит, надо развивать цифровые технологии для совместного пользования.

Используя метод экспертных оценок – устный анкетный опрос 85 руководителей организаций малого и микро-бизнеса на селе (5% от общей численности) в муниципальных образованиях семи природно-экономических зон, мы выявили наиболее значимые факторы для рядовых работников (рис. 1, нижняя часть), которые разделили на:

- организационные, зависящие от реализации административных ресурсов аппарата управления экономических субъектов отрасли, включающие своевременную организацию поставок ресурсов и сбыта продукции, технологического обслуживания основного производства, участия в государственных программах поддержки отрасли;

- материальные, зависящие от платежеспособности хозяйствующих субъектов и возможностей бюджетов всех уровней, включающие наличие достаточного объема материальных запасов; энергоресурсов; обеспеченность средствами связи, помещений для хранения готовой продукции и запасов; транспорта, сельскохозяйственных машин и оборудования; качество дорог;

- социально-экономические, к которым отнесли соотношение уровня заработной платы (дохода) и её покупательной способности; стоимость услуг инфраструктурных организаций; эффективность государственной системы контроля качества рабочих мест; наличие и эффективность системы управления развитием производственной и инженерной инфраструктуры сельских территорий и аграрного труда;

– экологические: влияние применяемых в растениеводстве средств защиты растений, отходов животноводства и несанкционированной утилизации твердых бытовых отходов на водоемы, флору, фауну и здоровье населения.

Расчет доли ответов экспертов, содержащих факторы, показал, что для работников важны, в первую очередь, факторы, влияющие на: их здоровье и морально-психологическое состояние; на отношение к труду. Каждый из перечней показателей, характеризующих состояние инфраструктуры, обеспечивающей более качественные условия труда, для проведения экспертной оценки разделен на 4 варианта ответов, выраженных в процентах – 25%, 50%, 75%, 95%. Базовые показатели предложено рассчитывать только на основе статистики, взятой в различных региональных ведомствах, частных компаниях и районных органах управления.

Их сравнение с показателями производительности труда, рассчитанной как соотношение объемов производства продукции той или иной отрасли и численности работников в ней, позволит показать влияние наличия объектов или факторов на этот расчетный показатель (табл. 1).

Таблица 1.

**Некоторые показатели состояния социальной инфраструктуры сельских территорий регионов СФО в 2021 г.**

	Число сельских населенных пунктов, ед.	Число лечебно-профилактических организаций на конец года, ед.	Число организаций дошкольного образования, ед.	Охват детей 1-6 лет дошкольным образованием по сельской местности, %	Количество школ в сельской местности, ед.	Доля обучающихся, охваченных подвозом, %	Доля обучающихся, обеспеченных горячим питанием, %
Республика Алтай	246	218	133	67,37	164	86,89	96,65
Республика Тыва	144	124	150	60,62	133	68,34	67,94
Республика Хакасия	264	181	143	67,75	168	100,00	87,16
Алтайский край	1598	1 056	386	54,17	848	93,71	90,76
Красноярский край	1700	920	381	56,19	669	97,28	90,22
Иркутская область	1488	701	400	50,06	587	92,76	89,05
Кемеровская область	1073	143	57	62,10	248	97,02	89,61
Новосибирская область	1534	995	490	47,75	647	97,83	93,92
Омская область	1477	920	459	54,84	462	100,00	93,20
Томская область	570	280	216	70,62	217	94,18	94,19

Источник: [8]

На следующем этапе выявлены услуги, в которых больше всего нуждаются работники сельского хозяйства для защиты своего здоровья. Каждый из показателей, получивший наибольший уровень значимости, оценивался по критериям – низкий, средний и высокий. Расчеты показали, что важнейшими из них являются услуги по обеспечению экологической безопасности их здоровья на рабочем месте (табл. 2).

Таблица 2.

**Количество образовательных учреждений по состоянию на 1 января 2022 г. по субъектам Сибирского федерального округа**

	Высшего образования		Среднего профессионального образования	
	Город	Село	Город	Село
Республика Алтай	1	0	3	2
Республика Тыва	1	0	8	2
Республика Хакасия	4	0	9	7
Алтайский край	23	0	23	16
Красноярский край	26	0	41	7
Иркутская область	22	1	26	9
Кемеровская область	11	0	56	2
Новосибирская область	29	1	40	24
Омская область	21	2	33	14
Томская область	6	0	18	5

Составлено по [8]

В животноводстве это связано с безответственной утилизацией отходов – навоза и остатков туш животных др.; в растениеводстве – последствия применения химических средств защиты растений, остатки которых вымываются осадками из почвы и загрязняют водоемы, через воздух отравляют насекомых, приводя к их гибели, в т.ч. пчел, нанося немалый ущерб их владельцам; остатки химической обработки сельскохозяйственного сырья на предприятиях пищевой промышленности также наносят ущерб почве и водоёмам; несанкционированные свалки бытовых отходов, в том числе на территориях проведения полевых работ, приводят к заболеваниям, в т.ч. и хроническим.

Учитывая, что ни один современный проект по улучшению условий труда, не может быть эффективным без применения цифровых технологий [4], одним из этапов исследования стал поиск в открытых источниках, используемых в практике сельского хозяйства программно-аппаратных комплексов, основанных на применении цифровых технологий. Спектр применения беспилотной техники сегодня достаточно широк (табл. 3).

Таблица 3.

**Программно-аппаратные беспилотные комплексы, предназначенные для выполнения определенных функций в растениеводстве**

Вид услуги (деятельности)	Информационный продукт	Фирма-разработчик
Комбайны	Беспилотный комбайн	ООО «Ростсельмаш», г. Ростов-на-Дону
Тракторы	АгроБот Беспилотный трактор	ООО «КБ Аврора (Avroga robotics lab)», г. Рязань
	Беспилотный трактор Роскосмоса	НПО автоматики имени академика Н.А. Семихатова, г. Екатеринбург
Системы вождения беспилотной техники	ExactFarming Sensor Hub	ООО «Точное Землепользование», г. Москва
	John Deere Operations Center	John Deere
Разбрызгиватели	John Deere R-серия Опрыскиватели	John Deere
Прочее	Case IH Magnum	ТНК «CNH Industrial»
	Kompano (робот-садовод)	Priva (Финляндия), АО «Шетелиг Рус», г. Санкт-Петербург
	Tertill (робот для огорода)	Franklin Robotics (США)
	Weeder (робот для уничтожения сорняков)	Startup Carbon Robotics (США)
	Умный робот для сбора яблок	Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва
БПЛА	DJI Agras (сельскохозяйственные дроны)	DJI (КНР)
	Skyrobot: Дрон с ИИ и ИК-датчиком	Skyrobot (КНР)
	МАИ: Грузовой беспилотный летательный аппарат	Московский авиационный институт (МАИ), г. Москва

Анализ их функций позволяет утверждать, что они ограждают работников от воздействия вредных химических препаратов, влияния неблагоприятных погодных условий, монотонного выполнения однообразных работ и т.п. При этом сокращается число занятых в сельскохозяйственном производстве, что в современных условиях изъятия кадров, связанных с мобилизацией, особенно важно. Привлечение студентов на место мобилизованных специалистов будет способствовать скорейшему осознанию

ими необходимости освоения новых технологий. Следовательно, наличие данной техники предложено добавить в перечень разработанных показателей оценки влияния инфраструктуры на условия труда.

Важнейшими проблемами малых сельскохозяйственных производителей является отсутствие условий или ограниченные возможности приобретения и ремонта техники и оборудования, хранения, предпродажной подготовки и транспортировки произведенной продукции, поиск потребителей для произведенной продукции. Поэтому в качестве показателей должны выступать не только наличие фирм, оказывающих такие услуги, но и оснащенность принадлежащих им объектов цифровыми технологиями, которые авторы систематизировали по направлениям (табл. 4). Применение новых технологий способно дать значительный стимул для развития сельскохозяйственного производства, особенно в малом и микро-секторе, так как обеспечит сохранность производимой продукции и облегчит труд работников складских помещений, позволит не тратить время на выполнение функций, не свойственных основному производству, снимет нагрузку на аграрный труд и улучшит экологическую ситуацию.

Но их внедрение требует решения таких задач, как подготовка специалистов, обладающих знаниями и ИТ-технологий, и аграрного производства, хранения и транспортировки аграрной продукции; методы привлечения их в аграрный сектор, особенно в средний и малый его сегменты; поиск организационных и финансовых ресурсов для внедрения данных технологий в средний и малый сегменты аграрного сектора.

Основными социально-экономическими предпосылками формирования инфраструктуры обеспечения экологической безопасности рабочих мест в АПК являются: *непривлекательность* сельскохозяйственного труда для молодежи и её уход в города из-за отсутствия элементарных условий жизнедеятельности [2]; *нежелание* местных предпринимателей вкладывать средства в развитие сельских территорий и проявлять социальную ответственность по отношению к работающим у них людям; *отсутствие* у районных органов управления желания заниматься вопросами улучшения условий труда, и проблемами местного бизнеса в целом в т.ч. в силу отсутствия у них бюджетных средств, которые они могли бы направить на необходимые для территории проекты, в т.ч. и на условиях муниципально-частного партнерства; *нестабильная макроэкономическая ситуация*, обусловленная то эпидемией коронавируса, то масштабными санкциями, накладываемыми на страну западными странами, что приводит к сокращению части бюджета, запланированной на развитие сельских территорий; *отсутствие специалистов*, способных управлять современной техникой и оборудованием.

Таблица 4.

**Цифровые решения, предназначенные  
для выполнения функций взаимодействия с поставщиками,  
потребителями и транспортировки продукции**

Выполняемые функции	Цифровое решение (программный продукт)	Разработчик
Управление транспортными потоками предприятия	Transbaza.CRM	ООО «Transbaza Технологичные перевозки», г. Москва
	Панорама АГРО	АО «КБ «Панорама», г. Москва
	PKC Агрокомплекс	АО «Российские космические системы» (PKC), г. Москва
Управление беспилотным автотранспортом	C-Pilot Интеллектуальная система автономного вождения	ООО Компания «Cognitive Technologies (Когнитивные технологии)», г. Москва
	Смарт Транспортная Логистика	ООО «OTM Smart», г. Москва
Управление техническим обслуживанием и ремонтом транспортных средств и сельхозтехники	Alfa-Equipment (Управление техническим обслуживанием и ремонтами)	ЗАО «Информконтакт консалтинг (Alfa system)», г. Москва
	Jet Galatea	АО «Инфосистемы Джет», г. Москва
	SM:Умное производство	ООО «1С:Первый БИТ», г. Москва
	Skov FarmOnline Explorer (FOX)	ООО «Skov», г. Москва
	ИнТерра Интегрированная платформа для сельского хозяйства	ООО «ИнТерра (IntTerra)», г. Ростовна-Дону
Организация взаимодействия с поставщиками, логистика поставок	B2B-Center Anyport	АО «B2B-Center (Центр развития экономики)», г. Москва
	ITender	ООО «FogSoft (ФогСофт)», г. Ярославль
	Smarty Pro	ООО «Облачные технологии», г. Нижний Новгород
	ИнТерра Интегрированная платформа для сельского хозяйства	ООО «ИнТерра», г. Москва
	Ростелеком: Цифровая экосистема АПК	ПАО «Ростелеком», г. Москва
Автоматизация процессов в торговле	Агрософт:Весовая	ООО «Агрософт-АУЦ», г. Москва
	Ростелеком: Цифровая экосистема АПК	ПАО «Ростелеком», г. Москва

Все это в целом обязывает искать новые методы защиты здоровья работников сельского хозяйства и средств для реализации необходимых для этого проектов.

Состояние инфраструктуры сельских территорий регионов СФО является в целом неудовлетворительным [259]. В социальной сфере, отражённой в таблице 1, наиболее развита сеть школ, что подтверждается как объективными данными Минпросвещения РФ, так и результатами проведённого опроса, в ходе которого 100% респондентов охарактеризовали школьное образование как доступное по месту жительства.

Настоящей проблемой для сельского населения является продолжение обучения после окончания школы. Как видно таблицы 2, всего по СФО 25,5% учреждений СПО и только 2,7% учреждений ВО расположены в сельской местности, а, точнее, в районных центрах, так что жителям других населённых пунктов приходится добираться до них самостоятельно. При этом выбор профессий в них чаще всего ограничен сельскохозяйственными и педагогическими специальностями. Для получения образования в других сферах сельский житель вынужден переезжать в город на срок от 1 до 6 лет. Такая миграция далеко не всегда оканчивается возвращением молодого специалиста в село, в т.ч. и из-за более высокого качества жизни в городе.

Учреждения здравоохранения в сельской местности представлены в основном фельдшерско-акушерскими пунктами, где сельское население может получить только первичную медицинскую помощь. Специализированная медицинская помощь же доступна только в райцентрах, а для получения некоторых видов медицинских услуг необходима поездка в столицу региона. Также следует отметить, что наличие ФАПа не означает наличия в нём сотрудников. Один фельдшер или врач общей практики может работать на нескольких участках, разбивая своё присутствие по дням недели или реагируя по факту вызова, что снижает реальную обеспеченность сельского населения медицинскими услугами при сохранении относительно неплохой формальной статистики.

Бытовая инфраструктура часто не учитывается при оценке качества жизни населения, однако она создаёт приемлемые условия для жизни, обеспечивая людей необходимыми благами [259]. Из всех видов магазинов в сельских населённых пунктах наиболее развиты минимаркеты, в которых жители могут приобрести ограниченный ассортимент товаров [11]. Их доминирование основано на малом размере населённых пунктов, а следовательно, малом спросе. Специализированные магазины, как и супермаркеты, чаще встречаются в райцентрах и других крупных населённых

пунктах, где ёмкость локального рынка достаточна для специализации или расширения ассортимента.

Результаты проведённого опроса показывают, что для сельских жителей приоритетными направлениями развития инфраструктуры являются сфера здравоохранения, газификация населённых пунктов и дорожная сеть как между поселениями, так и внутри них. Текущий уровень развития торговли, общепита и сферы услуг сельских жителей Новосибирской области в основном устраивает, и развивать эти сферы, по мнению опрошенных, можно по остаточному принципу. Также не является приоритетом для населения развитие канализаций, водопроводов и центрального отопления, т.е. тех элементов инженерной инфраструктуры, к которым крайне чувствительно как промышленное производство, так и городские высококвалифицированные специалисты.

Можно сформулировать следующие научно-методические положения по развитию инфраструктуры сельских поселений как механизма повышения качества жизни сельского населения:

1. Целесообразно выделять объективное и субъективное влияние инфраструктуры на качество жизни. Объективное заключается в повышении доступности благ, росте комфорта и безопасности жизни, появлении новых рабочих мест, изменении негативного восприятия жизни в сельской местности по сравнению с городом, создании предпосылок для социально-экономического развития сельской экономики. Субъективное же влияние заключается в повышении удовлетворённости сельского населения условиями жизни и труда.

2. При разработке государственных и ведомственных программ, предусматривающих в качестве одной из целей повышение качества жизни сельского населения или развитие сельской экономики, органам власти следует отдельной задачей предусматривать развитие необходимой инфраструктуры.

3. Также вышеупомянутым органам рекомендуется придерживаться следующего алгоритма:

1. Разработать стратегию развития рассматриваемой сферы, учитывая территориальные природные и социально-экономические особенности, увязав её со стратегией развития региона и его ролью в территориальном разделении труда в рамках национальной экономики.
2. Провести опрос населения по проблемам рассматриваемой сферы, желательно оставив часть вопросов открытыми.

3. Выделить систему показателей, отражающих не абстрактные статистические сведения, а реальное положение дел в сферах, оказывающих влияние на жизнь людей.
4. На основе разработанной стратегии и выявленных проблем, беспокоящих респондентов, разрабатывать программы, нацеленные не на достижение плановых значений целевых показателей, а на реальное улучшение ситуации.
5. Проводить мониторинг не только по отчётам о состоянии и динамике целевых показателей, но и в виде опросов населения и экспертов относительно их оценки произошедших изменений.
6. Предусмотреть внесение изменений по результатам мониторинга как объективных, так и субъективных оценок результатов программы.

4. В целях повышения сопоставимости формальных показателей, отражающих развитие инфраструктуры сельских территорий разных регионов, при проведении исследований в данной области рекомендуется использовать не абсолютные значения, а приведённые

5. В контексте исследования обеспеченности сельского населения инженерной инфраструктурой, авторы вводят понятие «относительная протяжённость», рассчитываемое нормированием протяжённости данного вида инженерных сетей на общую протяжённость улиц сельского населённого пункта. Данный подход может применяться в сельской местности из-за абсолютного преобладания индивидуальной застройки, приводящей к растягиванию инженерных сетей. Расчёт производился по формуле:

$$O_{ij} = \frac{L_{ij}}{Ls_j}$$

где:

$O_{ij}$  – относительная протяжённость  $i$ -того вида инженерных сетей  $j$ -той административно-территориальной единицы;

$L_{ij}$  – абсолютная протяжённость  $i$ -того вида инженерных сетей  $j$ -той административно-территориальной единицы;

$Ls_j$  – абсолютная протяжённость уличной сети  $j$ -той административно-территориальной единицы.

Основными видами инфраструктуры, влияющими на качество жизни сельского населения, являются социальная, бытовая и инженерная. В ходе выполнения исследований было установлено, что сельские жители считают основными недостатками жизни в селе неразвитость социальной и инже-

нерной инфраструктуры. Низкий же уровень развития бытовой инфраструктуры их в основном устраивает, и её развитие не является для респондентов приоритетом. Это связано более низкими (по сравнению с городом) требованиями сельских жителей к инфраструктуре, низкими доходами, ограничивающими финансовую доступность предлагаемых благ, развитостью неформальных связей и отношений в сельской местности и стремлением к самообеспечению сельских домохозяйств. В то же время, недостаточно развитая инфраструктура является препятствием для привлечения и закрепления молодых квалифицированных специалистов, рассчитывающих на более высокое качество жизни.

### **Заключение**

Рассматривая степень экономического развития сельских поселений, для удовлетворения потребностей населения регионов Сибири в сельскохозяйственной продукции, возникает необходимость предусматривать специальную систему экономических и организационных мер, устраняющих или ослабляющих отрицательные воздействия возможных угроз, рисков и негативных факторов. При этом одним из факторов развития выступает инфраструктура обслуживания АПК. Предложена методика формирования инфраструктуры обеспечения экологической безопасности рабочих мест в АПК, как фактор улучшения условий труда в сельских муниципальных образованиях и создания условий жизнедеятельности для работников отрасли.

Для эффективного развития инфраструктуры сельских поселений в качестве инструмента повышения качества жизни сельского населения необходимо отказаться от политики максимального охвата в пользу политики концентрации усилий на определённой территории на основе комплексного плана, охватывающего все сферы жизни общества и вовлекающего в его реализацию отраслевые органы власти в рамках единого проекта.

### **Список литературы**

1. Семенова, Е. И. Планирование развития социальной инфраструктуры сельских территорий / Е. И. Семенова, С. Ю. Симонов, А. В. Семенов // АПК: экономика, управление. – 2022. – № 12. – С. 84-89. – DOI 10.33305/2212-84. – EDN LZINEK. Агропромышленный комплекс России в 2020 году. Министерство сельского хозяйства РФ. Москва, 2021 г. 564 с.
2. Бухвостов, Ю. В. Трудовой потенциал сельских территорий: социально-экономический аспект К(Ф)Х региона / Ю. В. Бухвостов, Т. С. Кравченко // Наука Красноярья. – 2020. – Т. 9, № 4. – С. 61-84. – <https://doi.org/DOI.10.12731/2070-7568-2020-4-61-84>. – EDN EUQEWQ.

3. Колесников, А.В., Доможирова, О.В. Возможности для развития цифровых технологий в АПК России / А.В. Колесников, О.В. Доможирова // АПК: Экономика, управление. – 2020. – № 1. – С. 27-35. – DOI: <https://doi.org/10.33305/201-27>.
4. Колесняк А.А. Оценка экономической доступности продовольствия в регионах Сибири Дальнего Востока / А.А. Колесняк, Н.М. Полянская // Социально-экономический и гуманитарный журнал. 2021. № 4 (22). С. 20-37.
5. Котляров, И. Д. Сетевое сотрудничество в агропроме как инструмент развития сельского хозяйства / И. Д. Котляров // Региональные агросистемы: экономика и социология. – 2015. – № 2. – С. 13. – EDN UYWVLB.
6. Котляров, И. Д. Развитие экспорта российской сельскохозяйственной продукции на основе сетевого сотрудничества в АПК / И. Д. Котляров // Экономика сельского хозяйства России. – 2018. – № 2. – С. 76-84. – EDN YQNQEI.
7. Миндлин, Ю. Б. Партнерство малого и крупного агробизнеса как условие устойчивого развития отечественного АПК / Ю. Б. Миндлин // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2020. – № 4. – С. 49-52. – EDN HQJCFY.
8. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2021: Стат. сб. / Рос- стат. – М., 2021. – 1112 с.
9. Семенова, Е. И. Планирование развития социальной инфраструктуры сельских территорий / Е. И. Семенова, С. Ю. Симонов, А. В. Семенов // АПК: экономика, управление. – 2022. – № 12. – С. 84-89. – <https://doi.org/DOI 10.33305/2212-84>
10. Ушачев И.Г. Актуальные направления совершенствования аграрной политики России / И. Г. Ушачев, А. Ф. Серков, В. В. Маслова, В. С. Чекалин // АПК: Экономика, управление. 2019. № 3. С. 4-16. <https://doi.org/10.33305/193-4>. – EDN LZINEK. Серков, В.В. Маслова, В.С. Чекалин // АПК: Экономика, управление. – 2019. – № 3. – С. 4-16. – DOI: 10.33305/193-4.
11. Статистическая информация о социально-экономическом развитии сельских территорий Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/sel-terr.html> (дата обращения: 05.04.2023).
12. Стельмашонок, Е. В. Цифровая трансформация агропромышленного комплекса: анализ перспектив / Е. В. Стельмашонок, В. Л. Стельмашонок // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. – 2021. – Т. 13, № 2. – С. 336-365. – <https://doi.org/DOI 10.12731/2658-6649-2021-13-2-336-365>.
13. Тю Л.В. Совершенствование государственной поддержки инвестиций в сельское хозяйство // АПК: экономика, управление. – 2019. – №11. – С. 23-30.

14. Ушачев И.Г. Актуальные направления совершенствования аграрной политики России / И. Г. Ушачев, А. Ф. Серков, В. В. Маслова, В. С. Чекалин // АПК: Экономика, управление. 2019. № 3. С. 4-16. <https://doi.org/10.33305/193-4>Ушачев, И. Г. Актуальные направления совершенствования аграрной политики России / И. Г. Ушачев, А. Ф. Серков, В. В. Маслова, В. С. Чекалин. – DOI 10.33305/193-4. – Текст : непосредственный // АПК: Экономика, управление. – 2019. – № 3. – (Аграрная политика: проблемы и решения). – С. 4-16.
15. Цифровая платформа «Мой экспорт». [Эл. ресурс]. – URL: <https://myexport.exportcenter.ru/> (дата обращения 14.04.2022)].
16. Шарыпова, О. А. Продовольственное самообеспечение Магаданской области в контексте вызовов развития региональной продовольственной системы / О. А. Шарыпова // Региональная экономика: теория и практика. – 2022. – Т. 20, № 12(507). – С. 2295-2316. <https://doi.org/10.24891/re.20.12.2295>.
17. Янбых, Р. Г. Вертикальная координация малого бизнеса в сельском хозяйстве / Р. Г. Янбых, Е. А. Гатаулина // Экономист. – 2016. – № 8. – С. 78-87. – EDN WIGAXP.
18. Amirova, E. F., Gavrilyeva, N. K., Romanishina, T. S., & Asfandiarova, R. A. (2022). On the problem of the development of ‘sustainable’ agriculture in modern economic realities. // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022. Vol. 14(3), P. 392-406. <https://doi.org/doi:10.12731/2658-6649-2022-14-3-392-406>
19. Butakova, M. M., Sokolova, O. N., & Churina, L. I. (2022). Export of agro-industrial products of Russia: new opportunities and development problems // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022. Vol. 14(3), P. 342-354. <https://doi.org/doi:10.12731/2658-6649-2022-14-3-342-354>
20. Kovaleva, E. A., & Ivanyo, Y. M. (2022). Management models of agrarian production taking into account natural and technogenic impacts on the environment. // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022. Vol. 14(3), P. 24-39. <https://doi.org/doi:10.12731/2658-6649-2022-14-3-24-39>
21. Sallet J., Paisley E. (2009). Innovation Clusters Create Competitive Communities. // *Huff Post Social News*. September 21, 2009.
22. Stimulation of Regional Clusters and International Exchange (International Comparative Survey for Vitalization of the Japanese Economy). Japan External Trade Organization (JETRO). Tokyo, June 2004.

### *References*

1. Semenova, E. I. Planning of development of social infrastructure of rural territories / E. I. Semenova, S. Yu. Simonov, A.V. Semenov // *Agro-industri-*

- al complex: economics, management. – 2022. – No. 12. – PP. 84-89. – DOI 10.33305/2212-84. – EDN LZINEK. *Agropromyshlennyy kompleks Rossii v 2020 godu. Ministerstvo sel'skogo khozyaystva RF* [Agro-industrial complex of Russia in 2020. Ministry of Agriculture of the Russian Federation]. Moscow, 2021, 564 p.
2. Bukhvostov Yu.V., Kravchenko T.S. *Nauka Krasnoyar'ya*, 2020, vol. 9, no. 4, pp. 61-84. <https://doi.org/10.12731/2070-7568-2020-4-61-84>
  3. Kolesnikov A.V., Domozhirova O.V. *APK: Ekonomika, upravlenie*, 2020, no. 1, pp. 27-35. <https://doi.org/10.33305/201-27>
  4. Kolesnyak A.A., Polyanskaya N.M. *Sotsial'no-ekonomicheskii i gumanitarnyy zhurnal*, 2021, no. 4 (22), pp. 20-37.
  5. Kotlyarov I.D. *Regional'nye agrosistemy: ekonomika i sotsiologiya*, 2015, no. 2, p. 13.
  6. Kotlyarov I.D. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*, 2018, no. 2, pp. 76-84.
  7. Mindlin Yu.B. *Ekonomika sel'skokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy*, 2020, no. 4, pp. 49-52.
  8. *Regiony Rossii. Sotsial'no-ekonomicheskie pokazateli. 2021: Stat. sb.* [Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2021: Stat. Sat.] / Ros-stat. M., 2021, 1112 p.
  9. Semenova E.I., Simonov S.Yu., Semenov A.V. *APK: ekonomika, upravlenie*, 2022, no. 12, pp. 84-89. <https://doi.org/10.33305/2212-84>
  10. Ushachev I.G., Serkov A.F., Maslova V.V., Chekalin V.S. *APK: Ekonomika, upravlenie*, 2019, no. 3, pp. 4-16. <https://doi.org/10.33305/193-4>
  11. Statisticheskaya informatsiya o sotsial'no-ekonomicheskom razvitii sel'skikh territoriy Rossiyskoy Federatsii. <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/sel-terr.html>
  12. Stel'mashonok E.V., Stel'mashonok V.L. *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>
  13. Tyu L.V. *APK: ekonomika, upravlenie*, 2019, no. 11, pp. 23-30.
  14. Ushachev I.G., Serkov A.F., Maslova V.V., Chekalin V.S. *APK: Ekonomika, upravlenie*, 2019, no. 3, pp. 4-16. <https://doi.org/10.33305/193-4>
  15. Digital platform “My export”. <https://myexport.exportcenter.ru/>
  16. Sharypova O.A. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika*, 2022, vol. 20, no. 12(507), pp. 2295-2316. <https://doi.org/10.24891/re.20.12.2295>
  17. Yanbykh R.G., Gataulina E.A. *Ekonomist*, 2016, no. 8, pp. 78-87.
  18. Amirova E.F., Gavrilyeva N.K., Romanishina T.S., Asfandiarova R.A. On the problem of the development of ‘sustainable’ agriculture in modern economic realities. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022,

- vol. 14(3), pp. 392-406. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-392-406>
19. Butakova M.M., Sokolova O.N., Churina L.I. Export of agro-industrial products of Russia: new opportunities and development problems. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14(3), pp. 342-354. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-342-354>
20. Kovaleva E.A., Ivanyo Y.M. (Management models of agrarian production taking into account natural and technogenic impacts on the environment. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14(3), pp. 24-39. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-24-39>
21. Sallet J., Paisley E. Innovation Clusters Create Competitive Communities. *Huff Post Social News*. September 21, 2009.
22. Stimulation of Regional Clusters and International Exchange (International Comparative Survey for Vitalization of the Japanese Economy). *Japan External Trade Organization (JETRO)*. Tokyo, June 2004.

#### ДАнные ОБ АВТОРАХ

**Куц Василий Иванович**, доктор экономических наук, профессор, кафедра «Международные экономические отношения»  
*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова*  
пр. Ленина, 46, Барнаул, Алтайский край, 656038, Российская Федерация  
[kuc58@mail.ru](mailto:kuc58@mail.ru)

**Абушенкова Марина Владимировна**, доцент кафедры истории и социально-культурного сервиса ЮЗГУ  
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет»*  
ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, Курская область, 305040, Российская Федерация  
[abushenkova.mv@yandex.ru](mailto:abushenkova.mv@yandex.ru)

**Журавлев Павел Викторович**, доктор экономических наук, профессор  
*Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова*  
Стремянный пер., 36, г. Москва, 113054, Российская Федерация  
[Zhuravlev.PV@rea.ru](mailto:Zhuravlev.PV@rea.ru)

**Курнос Владимир Сергеевич**, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики и внешнеэкономической деятельности *Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина*  
ул. Калинина, 13, г. Краснодар, 350044, Российская Федерация  
*v.s.kurnosov@yandex.ru*

#### DATA ABOUT THE AUTHORS

**Vasily I. Kuts**, Doctor of Economics, Professor, Department “International Economic Relations”  
*Altai State Technical University named after I.I. Polzunov*  
46, Lenin Ave., Barnaul, Altai Krai, 656038, Russian Federation  
*kuc58@mail.ru*  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7104-8712>

**Marina V. Abushenkova**, Associate Professor of the Department of History and Socio-cultural Service of South Ural State University  
*Southwest State University*  
94, 50 let Oktyabrya Str., Kursk, Kursk Region, 305040, Russian Federation  
*abushenkova.mv@yandex.ru*  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8632-1715>

**Pavel V. Zhuravlev**, Doctor of Economics, Professor  
*Plekhanov Russian University of Economics*  
36, Stremyanny lane, Moscow, 113054, Russian Federation  
*Zhuravlev.PV@rea.ru*  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3769-3117>

**Vladimir S. Kurnosov**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of department of economics and foreign economic activity  
*Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin*  
13, Kalinina Str., Krasnodar, 350044, Russian Federation  
*v.s.kurnosov@yandex.ru*  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0692-6595>

Поступила 10.04.2023

После рецензирования 17.05.2023

Принята 28.05.2023

Received 10.04.2023

Revised 17.05.2023

Accepted 28.05.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-409-435

УДК 631.618 (292.471)



Научная статья | Сельскохозяйственная мелиорация

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССОВ РЕКУЛЬТИВАЦИИ КАРЬЕРНО-ОТВАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ КРЫМА

*В.Г. Кобечинская, О.Б. Ярош, И.Б. Просяникова*

*Приведены результаты изучения временных этапов первичного сингенеза при сравнительной оценке интенсивности демутационных процессов растительности и формирования почвенного покрова на отработанных карьерно-отвальных комплексах в степном и предгорном Крыму, что выполнено впервые для данного региона.*

**Материалы и методы.** *Исследования проведены на двух карьерах. Первый расположен в степной части полуострова. На нем велась добыча известняка, карьер находится вблизи г. Евпатория. Второй карьер размещен в предгорной зоне вблизи г. Бахчисарай. Изучение растительного покрова проводилось геоботаническими методиками. Был выявлен флористический состав растений, устойчивых к специфическим неблагоприятным абиотическим условиям карьеров, структура их сложения и продуктивность соответствующих сообществ. При оценке физических показателей подстилающих пород и формирующихся почв учитывались: агрегатный и микроагрегатный состав почвогрунтов, порозность и скважность их структуры по объемному и удельному весам твердой фазы. При химических исследованиях почвогрунтов определялись следующие показатели: содержание гумуса, состав обменных катионов, активная кислотность водяной вытяжки, общая щелочность, ионы  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ .*

**Результаты.** *Установлены региональные особенности состава растительности и почвообразовательных процессов. Выявлено, что в равнинной части полуострова процесс формирования регенерационных биогеоценозов идет быстрее, чем в предгорьях. Процессы сингенеза почв и растительности на отвалах при биологической рекультивации сильно растянуты по временной шкале и еще очень далеки от природных экосистем даже после 35-40-летнего периода.*

**Выводы.** Ориентироваться на оптимизацию данных территорий только через биологическую рекультивацию проблематично. Необходимо планировать проведение горно-технической рекультивации для возвращения этих территорий в хозяйственное использование.

**Ключевые слова:** карьеры; отвалы вскрышных пород; строительные материалы; растительность; демулационные смены; почвообразование; Крым

**Для цитирования.** Кобечинская В.Г, Ярош О.Б, Просянникова И.Б. Экологический мониторинг процессов рекультивации карьерно-отвальных комплексов Крыма // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №3. С. 409-435. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-409-435

Original article | Agricultural Melioration

## ECOLOGICAL MONITORING OF THE RECLAMATION PROCESSES OF THE QUARRY COMPLEXES OF CRIMEA

*V.G. Kobechinskaya, O.B. Yarosh, I.B. Prosyannikova*

*The aim of the work was to study the temporal stages of primary syngensis in a comparative assessment of the intensity of vegetation demutational processes and soil cover formation on the waste quarry-dump complexes in the steppe and foothill Crimea.*

**Methods and materials.** *The studies were conducted in two quarries. The first one is located in the steppe part of the peninsula. It was producing limestone, the quarry is located near the city of Evpatoria. The second quarry is located in the foothill zone near Bakhchisaray. The study of the vegetation was conducted by geobotanical methods. The floristic composition, structure of composition and productivity of the corresponding communities were identified. When assessing the physical indicators of the underlying rocks and emerging soils were taken into account: the aggregate and microaggregate composition of soils, porosity and well of their structure by volume and specific weight of the solid phase. At chemical researches of soils the following parameters were defined: the maintenance of humus, composition of exchangeable cations, active acidity of aqueous extract, general alkalinity, ions  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$ .*

**Results.** *Regional features of vegetation composition and soil-forming processes have been established. The process of regenerating biogeocenoses in the plain part*

*of the peninsula was found to proceed faster than in the foothills. The processes of soil and vegetation syngeneses at the dumps during the biological recultivation are strongly stretched on the time scale and are still very far from the natural ecosystems even after 35-40 years.*

**Conclusions.** *Focusing on optimizing these areas through biological reclamation alone is problematic. It is necessary to plan mining-technical reclamation to return these territories to economic use.*

**Keywords:** *quarries; overburden rock dumps; construction materials; vegetation; demutational shifts; soil formation; Crimea*

**For citation.** *Kobechinskaya V.G, Yarosh O.B, Prosyannikova I.B. Ecological Monitoring of the Reclamation Processes of the Quarry Complexes of Crime. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 409-435. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-409-435*

## Введение

На Крымском полуострове ведущими минеральными ресурсами являются строительные материалы. Это камень: строительный, облицовочный и пильный, сырье цементное, мергель, гипс и ангидрит, песок, керамзитовое и стекольное сырье и др. В эксплуатации было 196 месторождений, но из-за снижения нужд и уменьшения объемов строительства в постсоветский период, большая часть из них были выведены из эксплуатации [14].

Вскрышными работами на карьерах было нарушено 3775,4 га земель, площадь отработанной территории – 1461,6 га, к сожалению, горнотехническая рекультивация была суммарно проведена всего на площади 121,6 га, а после 2000 г эти работы вообще не финансировались [4]. Складирование в течение длительного времени плодородного слоя почвы в отвалах привело к ухудшению его физико-химических и биологических свойств, что сделало неэффективным его последующее использование.

В последние годы в Республике Крым значительно расширилась номенклатура строительной продукции: мелкие бетонные блоки, стеновые блоки из природного камня, гранитные плиты, керамзит, гравий и т.д. Сырьевая база региона позволяет наращивать мощности по производству цемента, стеновых материалов, железобетонных конструкций и изделий, щебня, песка и пр. После 2014 г работы по геологическому изучению территории и контролю окружающей среды стало осуществлять Министерство экологии и природных ресурсов Республики Крым. При инвентаризации имеющейся геологической информации и документации было выявлено, что часть эксплуатируемых месторождений по добыче полез-

ных ископаемых были заброшены или эксплуатировались без соответствующих разрешений и лицензий.

В рамках государственной программы Республики Крым «Охрана окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Республики Крым на 2018-2020 годы», утвержденной постановлением Совета министров Республики Крым от 22 ноября 2017 года № 619, Министерством экологии и природных ресурсов РК была выполнена инвентаризация «брошенных» карьеров, проведено геологическое изучение с целью оценки земель, нарушенных при проведении работ, связанных с эксплуатацией месторождений твердых полезных ископаемых (МТПИ) на полуострове [4,13]. В результате, было выявлено дополнительно к учтенным карьерам ещё 152 участка нарушенных земель, общей площадью – 2896,4 га в 13 административных районах РК. Наибольшие площади «брошенных» карьеров: в Первомайском районе (41 шт. и общая площадь – 1145 га), соответственно в Сакском (20 шт. – 520,9 га) и Черноморском (30 шт. – 408,8 га). Многие выработки используются под складирование твёрдых бытовых и промышленных отходов по всей площади или её части. Учитывая распределение земель на территории Республики Крым по видам использования, нарушенные земли в сумме составляют – 5,1 тыс. га (0,2% от общей площади) [14, 3].

Взаимосвязи между основными компонентами – почвой и биотой на начальных стадиях образования отвальных ландшафтов разрушены, здесь отсутствует семенной банк, характерный для любого почвенного покрова природных сообществ. Поэтому временные этапы восстановления данных компонентов, отражающие характерные черты воссоздания биогеоценотического покрова техногенных ландшафтов с учетом территориальных особенностей представляют научный интерес. В связи с этими данными актуальным являются вопросы оценки активности биологической рекультивации разновозрастных эксплуатируемых отвалов и «брошенных» карьеров на территории полуострова, с учетом того, что горнотехническая рекультивация на них не проводилась.

Для изучения этих процессов в качестве модельных объектов были взяты два крупнейших месторождения МТПИ Крыма, расположенных в предгорной и степной части полуострова.

*Целью работы* является исследование первичного сингенеза при проведении сравнительной оценки интенсивности демулационных процессов растительности и формированию почвенного покрова на отработанных карьерно-отвальных комплексах с учетом различий добываемых строительных материалов и почвенно-климатических характеристик данных

территорий, что выполнено впервые для данного региона. Для достижения этой цели в работе решались следующие *задачи*:

А) выявить направленность почвообразовательных процессов на различных субстратах карьерно – отвальных комплексов в данных климатических зонах полуострова;

Б) установить связи между темпами формирования растительного покрова и меняющимися характеристиками почвогрунтов, а также интенсивность влияния растений на подстилающие породы с учетом многообразия эдафических условий на карьерах, что крайне актуально;

В) провести анализ флористического состава видов, заселяющих разновозрастные отвалы, с учетом их биоморфологического спектра, так как наличие большого количества техногенных форм мезорельефа на карьерах благоприятствует диверсификации биоразнообразия и многообразию процессов формирования почв;

Г) выявить структуру сложения и продуктивность растительных сообществ во временной динамике и установить направленность сукцессионных серий при демутации растительности и почвообразовательного процесса, а также влияние абиотических факторов среды на активность этих процессов, что выполнено впервые для данной территории.

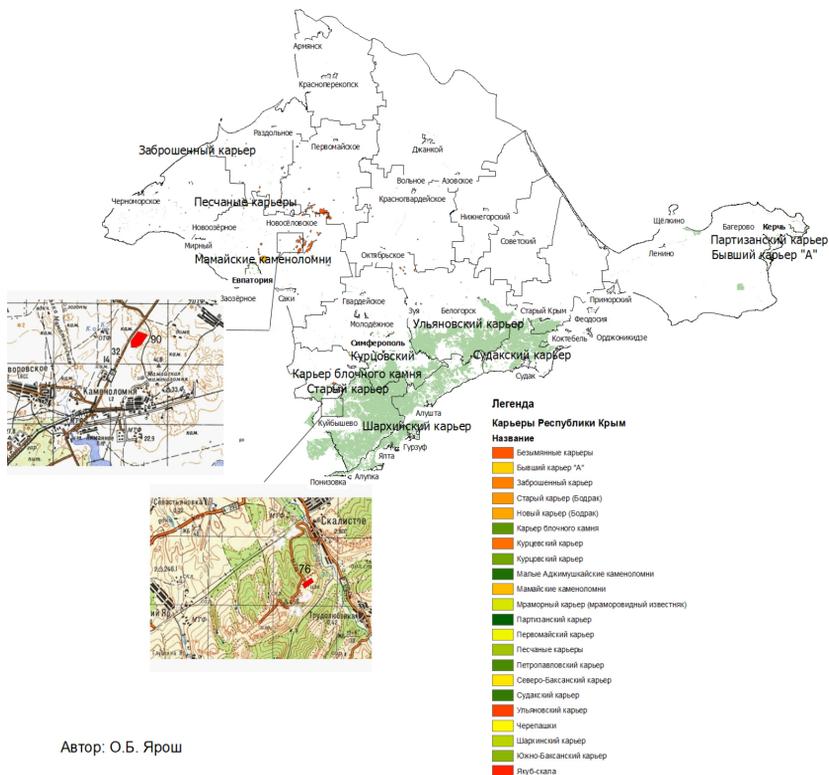
Существует ряд работ отечественных [11, 2, 1, 8, 17] и зарубежных [18, 16, 9] исследователей, посвящённых оценке интенсивности формирования почво-растительного покрова при биологической рекультивации формирующихся регенерационных биогеоценозов на карьерно-отвальных комплексах строительных материалов различных регионов страны и мира, как их наиболее информативных блоков. Особенно актуальны исследования, позволяющие раскрыть механизмы сукцессии с целью увеличения прогнозируемости развития сообществ в процессе биологической рекультивации [2, 8, 16 и др.].

Выявлен ряд последовательных, четко выделяемых стадий формирования растительного покрова: пионерной, простой, сложной группировок и открытого фитоценоза, что отмечено многими исследователями [8, 11, 16, 17]. Биогенно-аккумулятивные процессы обеспечивают инициацию регенерационного почвообразования в посттехногенных экосистемах карьерно-отвальных комплексов. При этом степень сложности организации почвенного профиля тесно связана с уровнем развития растительного сообщества [1, 5, 9, 18, 19]. Каждой стадии экогенетической сукцессии соответствует определенная стадия почвообразования, что не характерно для природных экосистем. В литературе также значительное внимание уделено особенностям гумусообразования под различными видами растений [9, 15, 16, 19, 22, 21]

на карьерах, но в меньшей степени изучены механизмы формирования адаптационного потенциала растительных организмов к этим экстремальным условиям среды. В существующих работах, чаще всего, сукцессии растительного покрова и процессы педогенеза рассматриваются отдельно друг от друга. Поэтому комплексные исследования восстановления почвенно-растительного покрова на карьерах по-прежнему актуальны.

### Материалы и методы исследований

Исследования проводились на двух карьерах, расположенных в степной и предгорной зонах полуострова (Рисунок 1).



**Рис. 1.** Местоположение исследовательских площадей объект №1 – расположен в 1,6 км северней от с. Каменоломня, Мамайские каменоломни, Сакского района; объект №2 – Старый карьер (Бодрак) вблизи с. Скалистое, Бахчисарайского района

Первый объект – представляет собой отсыпь разновременных отвалов разрабатываемого карьера и находится вблизи Мамайских каменоломен. Это крупнейшее месторождение мезотического известняка-ракушечника является одним из старейших по освоению в степной части на полуострове.

Добыча в этом районе велась подземной проходкой еще с конца 19 века. Отвалы вскрышных пород размещаются в 1,6 км севернее с. Каменоломня Сакского района, общей площадью 385,7 га. По всей территории данного участка есть выходы на дневную поверхность пильных известняков. Залегание его пластообразное, пологое с углом падения пластов 1-3° и реже 4-5°. Мощность пластов от 0,8 до 3,0 м, вскрышных пород – 1,4 м и выше. Этот известняк – осадочная, неоднородная горная порода, состоящая из раковин или их обломков различной величины, сцементированная известковым или глиноизвестковым мелкозернистым кальцитом. Текстура крупнопористая, цвет – от светло-желтого до бурого. Подстилающая порода – глины средне-раннесарматского возраста (мощностью 50-160 м). Средняя плотность этого известняка-ракушечника – 0,97-1,29 г/см<sup>3</sup>. Из всех их видов на территории полуострова он имеет самые высокие показатели пористости – 30,2-66,9% и водопоглощения – 7,4-33,3%, но достаточно высокий коэффициент морозостойкости – 0,56-0,96, таким образом он выдерживает 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания, которые не разрушают его структуру. Этот камень хорошо пилится и обрабатывается, поэтому широко применяется в строительстве как стеновой материал, особенно в частном секторе.

Второй объект – это Старый (Бодрак) отработанный в верхней части средней гряды Крымских гор карьер мшанковых известняков (104,4 га), который расположен в предгорной части Крыма вблизи села Скалистого Бахчисарайского района, высота – 450-470 м н.у.м. Для этой горной породы характерна более высокая средняя плотность – 1,62-2,08 г/см<sup>3</sup> существенно ниже: пористость – 28,5-35,5% и водопоглощение – 9,1-15%, коэффициент морозостойкости – 0,7-0,99 близок мезотическому известняку-ракушечнику степной зоны. Добычу в нижней части карьера ведет Альминский ЗСМ. Способ разработки открытый, низкоуступный и одновременно многоуступный камнерезными машинами. Мощность пластов от 5 до 60 м и выше, но они неоднородны как по физико-механическим свойствам, так и по химическому составу. На всей территории видны выходы скальных массивов известняков [14].

Климат районов исследования – умеренно-континентальный, но отличается в зонах размещения карьеров. По физико-географическому районированию Крыма разновозрастные отвалы вблизи Мамайских каменоломен

расположены в степной зоне с годовым количеством осадков около 400 мм, в предгорной (лесостепной) зоне, где находится Старый (Бодрак) карьер, выпадает больше осадков – 554 мм осадков в год (преимущественно в осенне-зимний период – 302 мм). Радиационный индекс сухости – 2,1, среднегодовая температура + 10,3 °С. Летом степная зона отличается засухами и сушевыми (18-20 дней). Средняя температура июля выше, чем в предгорьях на 3,3°С и достигает 24,4 °С с частыми максимумами в этот период более 30-35 °С. Континентальность и засушливость климата степного Крыма усиливается за счет повышенного ветрового режима. Величина испаряемости влаги почти в два раза превышает количество выпавших осадков [12].

Исследования растительного покрова проводились стандартными геоботаническими методиками [10] с выявлением полного флористического состава растений, устойчивых к специфическим неблагоприятным абиотическим условиям карьеров. Были привлечены следующие адаптационные признаки: состав основных биоморф и их соотношение с учетом распределения растений по разновозрастным отвалам, структура корневой системы и глубина проникновения её в почву, которые выступают чувкими индикаторами экотопической изменчивости регенерационных биогеоценозов. Также велся учет: общего проективного покрытия, видовой насыщенности на учетных площадках 0,1 м<sup>2</sup> и 0,25 м<sup>2</sup> в 25-кратной повторности для оценки площадей задернения, ярусности сложения, высоты травостоя с выявлением доминантов и эдификаторов. Это позволило установить демулационные смены [2, 11; 17] растительности и сформировавшиеся здесь различные по флористическому составу регенерационные биогеоценозы.

Продуктивность растительных сообществ является отражением происходящих в экосистемах процессов, так как она самым тесным образом связана со всеми её внутренними и внешними факторами. Поэтому запасы надземной органической массы (живой и мертвой) наиболее полно отражают величину продуцируемого органического вещества растительностью. В период максимального развития травостоя на заложённых участках были проведены укосным методом сбор фитомассы и подстилки на площадках 0,25 м<sup>2</sup> в 10-ти кратной повторности. С последующим высушиванием материала и камеральной его обработкой с разбором укосов на хозяйственно-ботанические группы, их взвешиванием [10]. Все полученные результаты обрабатывались методами вариационной статистики. Ошибка средней величины для данных надземной массы составила ± 7- 10%. Номенклатура таксонов растений Крыма дана по данным А.В. Ены [7].

Также проводились сборы материалов по изменчивости физико-химических характеристик подстилающих пород изученных участков. Образ-

цы почвогрунта отбирались на каждом участке из следующих слоев: 0-20 и 20-30 см. Отбор и подготовку к анализам этих образцов осуществляли по общепринятым методикам в лаборатории [3]. По физическим показателям учитывались: агрегатный и микроагрегатный состав почвогрунтов, порозность и скважность их структуры по объемному и удельному весам твердой фазы, что позволило оценить соотношение в них минеральных и органических веществ, а также водно-воздушный режим. При химических исследованиях почвогрунтов определялись следующие показатели: гумус по методу Тюрина, состав обменных катионов, кислотность. Определение активной кислотности (рН) водной вытяжки производилось по методу Н.И. Алямовского. Определение общей щелочности оценивалось по  $\text{HCO}_3^-$  в мг/экв, ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  с помощью трилона Б. Перечисленные анализы дают возможность установить интенсивность почвообразовательного процесса на отвалах. Все показатели структурных элементов рассчитаны с оценкой достоверности на  $P \leq 0,95$  уровне значимости.

### **Результаты исследований и их обсуждение**

В равнинном Крыму отвалы сложены из смеси глинистых отложений и мелкораздробленных частичек известняка-ракушечника, а также и более крупных обломков, в предгорьях – из мелкораздробленных обломков известняка, известковой тырсы и мергелистых глин.

По маркшейдерским данным было установлено время разработок отдельных участков и выбраны примерно одновозрастные отвалы. Техническими формы аккумуляции отвалов – платообразные (старые) до 8-10 м высотой и гребневидные конусовидные отвалы до 10-15 м в предгорной зоне и до 10-12 м – в степной зоне. Крутизна склонов отвалов от 5 до 25°.

В зоне исследований степной части полуострова почвы относятся к темно-каштановым карбонатным малогумусовым на элювии известняков, в лесостепной части развиты предгорные слабощелочные глинистые и суглинистые черноземы на элювии и делювии известняков [6].

На обоих месторождениях были заложены по 5 пробных участков площадью 100 м<sup>2</sup> на разновозрастных отвалах: 2-3-х летних, 5-8-летних, 10-15-летних, 30-35-летних и 2 контрольных участка на прилегающей ненарушенной территории. Исследования велись в течение 3 лет, климатические характеристики сезонов этих лет были близки к среднеголетним.

По механическому составу почвы в степи являются щебенчато-глинистыми. Рыхлое сложение, большое количество хряща и щебня известняков, высокая порозность почв обуславливают целый ряд их физико-химиче-

ских свойств: большая воздухоемкость, быстрота впитывания влаги, высокая теплопроводность и фильтрационная способность, что ведет к резкому уменьшению влагоемкости верхнего горизонта и создают крайне жесткие условия для жизнедеятельности растительного покрова. Полная влагоемкость верхнего горизонта А достигает 60-75%, общая порозность 58-60%, скорость впитывания – 10 мм/мин. Анализ климатических показателей позволяет считать, что в условиях прохладной, затяжной и сухой весны, засушливого лета, длинной теплой осени и короткой мягкой с частыми оттепелями зимы деятельность почвенных микроорганизмов не прекращается в течение года, лишь ослабляясь в прохладное время, т.е. растительный опад активно минерализуется, поэтому почвообразовательные процессы на отвалах идут круглогодично.

Специфика почвенного покрова техногенных ландшафтов определяется кроме естественных факторов почвообразования еще и особенностями техногенеза, поскольку последний формирует строение поверхности ландшафта, особенности распределения и состава его пород. Поверхность техногенных ландшафтов представлена в основном склоновыми формами, на которых интенсивно развиваются дефляционные, водно-эрозионные, оползневые и другие процессы, препятствующие развитию почвенных профилей. На первых этапах происходит абиогенная трансформация субстрата, она заключается в перемещении и сортировке различных по гранулометрическому строению материалов. Идет перемещение мелкозема вниз по профилю, просадка грунта, образования понижений, т.е. происходит формирование внутреннего мезорельефа отвалов карьера. Следовательно, эти факторы тормозят скорость почвообразования, удерживают эти процессы на стадии эмбриоземов [5, 9, 18].

Следует отметить, что карьерно-отвальные комплексы с учетом различных объектов добычи сырья могут служить также моделями изучения инициального педогенеза на различных стадиях формирования экосистем. Преимуществом здесь является то, что исследователю известен возраст участка, поэтому полученные результаты можно использовать и в моделировании процессов почвообразования. Сравнительный анализ формирующихся почв (табл. 1) на отвалах двух карьеров позволил выявить, что между процессом образованием гумуса и возрастом пробных участков нет прямо пропорциональной зависимости. Скорость регенерационного почвообразования определяется в первую очередь стадией сукцессии растительности и абиотическими факторами среды, причем интенсивность начального почвообразования быстро снижается после первого десяти-

летия (отвалы возрастом 10-15 лет) на сравниваемых объектах, но из-за более высокого водообеспечения в предгорной зоне в течение года основные физико-химические показатели формирующихся грунтоземов более благоприятны для развития растений.

Таблица 1.

**Некоторые физико-химические показатели формирующихся грунтоземов на разновозрастных отвалах и контрольных участках карьеров в степном и предгорном Крыму**

№	Возраст участков для взятия проб	Гумус, %	pH	Полевая влажность, %	Общая щелочность $\text{HCO}_3$ мг-экв.	Азот валовый, %	$\text{P}_2\text{O}_5$ подвижный, в мг на 100 г почвы	$\text{K}_2\text{O}$ в $\text{Mg}^2$ -экв на 100г почвы
Объект № 1. (точки отбора – отвалы Мамайских каменоломен в степной зоне)								
1.	2-3 летние	0,58	7,6	7,32	0,24	0,04	0,7	6,02
2.	5-8 летние	0,87	7,5	9,65	0,31	0,05	0,79	18,4
3.	10-15 летние	0,37	7,6	8,19	0,50	0,03	0,33	19,5
4.	30-35 летние	1,20	7,7	13,08	0,58	0,02	0,94	28,4
5.	Контроль – целинная степь	2,37	7,4	15,89	0,62	1,18	3,3	32,2
Объект № 2 (точки отбора - отвалы Старого (Бодрак) карьера в предгорной зоне)								
6.	2-3 летние	0,44	7,2	14,0	0,62	0,02	0,4	4,2
7.	5-8 летние	0,56	7,2	8,0	0,68	0,06	0,9	9,4
8.	10-15 летние	0,55	7,2	15,0	0,62	0,04	0,98	14,5
9.	30-35 летние	0,98	7,3	5,0	0,64	0,07	1,57	16,3
10.	Контроль – целинная степь	3,40	7,2	9,0	0,80	0,18	1,93	17,8

Содержание гумуса на 10-15-летних отвалах карьера вблизи Мамайских каменоломен наиболее низкое (0,37%), что, видимо, связано с усилением процессов минерализации растительного покрова, т.к. среди видов «пионеров», заселяющих отвалы, наиболее обильны однолетники и монокарпики. Реакция среды – слабощелочная (pH водной вытяжки – 7,5-7,7), незначительно снижаясь на целинном участке – до 7,4. Общая щелочность повышается по мере увеличения возраста отвальных комплексов и на 30-35-летних (0,58 мг-экв) приближается к контрольному участку. Это

приводит к повышению емкости поглощения формирующихся почв. Следует отметить очень низкие показатели валового азота на всех пробных участках, также с резким снижением на 10-15-летних отвалах (0,026%), даже старовозрастные участки еще очень далеки по этому параметру от целинной степи (1,18 %). Напротив, содержание подвижного фосфора и калия имеют тенденцию плавного роста по мере увеличения возраста отвалов, но и их показатели еще очень далеки от контрольного участка целинной степи.

На разновозрастных отвалах в предгорной зоне реакция среды на всех вариантах слабощелочная (рН - 7,2), также четко прослеживается рост общей щелочности по пробным площадям (0,62-0,68 мг-экв.), но эти показатели не так контрастны, как в степной зоне и имеют более высокие величины. Содержание гумуса в верхнем горизонте низкое (0,44-0,98%), т.е. процессы гумификации находятся также на начальных стадиях.

В зональных почвах оксиды щелочно-земельных металлов достигают 7,4 мг-экв. Отличительной чертой преобразования карбонатных пород является декарбонизация вследствие химического и физического выветривания. Процессы растворения карбонатов сильно зависят от реакции среды, на карьерах они замедлены, т.к. реакция почвенной среды рН на обоих карьерах слабо щелочная (7,2-7,4). Также для верхних горизонтов характерно большее содержание фракций мелкозема, наличие которого, в свою очередь, способствует увеличению почвенного плодородия и влагоемкости. Следовательно, на отвалах процесс выщелачивания только начался, поэтому геохимическая миграция в техногенной коре выветривания характеризуется лишь начальными этапами.

Содержание валового азота также очень низкое (0,02-0,07%). Напротив четко прослеживается увеличение содержания подвижного фосфора, который достигает на старовозрастных отвалах 1,57мг/100г почвы, та же тенденция выявлена и для обменного калия (4,2-16,3 мг.экв/100 г почвы). Также следует отметить здесь более низкую полевую влажность, что обусловлено более крутыми склонами отвалов, как и склоном контрольного участка, в результате идет потеря осадков на поверхностный сток.

В целом можно отметить, что направление почвообразовательного процесса в формирующихся молодых почвах биогеоценозов: состав гумуса, соотношение С:N и другие характеристики мало отклоняются от зонального типа. Но по всем изученным параметрам в степной и предгорной зоне эти техногенные почвогрунты еще очень далеки от ненарушенных контрольных участков и процесс этот растянут на многие десятилетия. Су-

щественное влияние оказывают экспозиция и крутизна склонов, большая неоднородность мезо- и микрорельефа, бедность субстрата элементами питания, его неблагоприятный механический состав, резкие колебания температур на поверхности отвалов, неустойчивость водного режима пород являются дополнительными препятствиями для активной биологической рекультивации этих территорий.

По географическому районированию Крыма с учетом сформировавшегося почвенного покрова зональная растительность для равнинной (степной) зоны – крымские полынно-разнотравные степи и их петрофитные варианты, преобладают житняковые формации. Для лесостепной (предгорной) свойственны дерново-злаковые богато-разнотравные степи и бородачево-бедно-разнотравные, формирующиеся на выходах плотных известняков [7].

Скорость и направление сукцессий при биологической рекультивации определяются спецификой экологических условий различных техногенных комплексов.

Анализ структуры формирующихся растительных комплексов на карьерно-отвальных ландшафтах в степной и предгорной зоне позволил выявить ряд особенностей в сукцессиях этого компонента (табл. 2).

Продолжительность стадий сингенеза определяется климатическими и эдафотопическими факторами, что выражается как в их флористическом разнообразии, так и в весовых показателях – продуктивности. Все серийные стадии самозарастания детерминированы, что обуславливает неопределенно продолжительный характер их формирования.

Особенностью пионерной группировки на 2-3 – летних отвалах обоих карьеров является высокое флористическое разнообразие (68-71 вид) (табл. 2), что отличает их от карьеров других районов страны [2, 5, 8, 15, 23 и др.].

Согласно полученным результатам, видовой состав растений каждого карьера индивидуален, а различия флористического спектра обусловлены временными границами этапов самозарастания. Основным источником поступления семян – прилегающая территория, которая значительно отличается по флористическому составу разных климатических зон полуострова. Список ведущих семейств на карьерах, как правило, повторяет данное соотношение для природной зоны, при этом часто повышена доля видов, типичных для антропогенных местообитаний, например, из семейства бобовые и астровых. Наряду с рудеральными сорняками с широкой экологической амплитудой на сорно-бурьянной стадии сразу внедряются и зональные степные виды, относящиеся к разным жизненным формам

от однолетников до полукустарничков (*Acinos eglandulosus*, *Delphinium orientale*, *Echium vulgare*, *Ajuga chia*, *Anthemis dubia*, *Coronilla varia* и др.). Наиболее обильны стержнекорневые растения (72,1%), что свидетельствует о хорошей проницаемости для воздуха и влаги существующих грунтов карьеров на первых этапах задернения склонов. Общее проективное покрытие травостоя близко по значениям (20-35%), сильно выражена комплексность, т.к. режим влагообеспеченности верхних частях отвалов и их подножья разный.

Таблица 2.

**Основные структурные показатели растительности на разновозрастных отвалах карьеров и контрольных участках в степном и предгорном Крыму**

Участок, возраст	Показатели	Кол-во видов	Общее проективное покрытие, %	Видовая насыщенность в 25-кратной повторности		Высота травостоя, см	Продуктивность г/0,25м <sup>2</sup> воздушно-сухого веса
				0,1 м <sup>2</sup>	0,25 м <sup>2</sup>		
Отвалы карьера вблизи Мамайских каменоломен в степной зоне							
2-3 летние		68	20-30	4,5±0,21	5,4±0,81	15-25	67,3±3,43
5-8-летние		100	40-60	8,7±0,97	13,9±1,6	25-30	87,9±5,67
10-15 летние:			50-70				
верхняя часть		105	40-60	10,4±0,87	16,5±1,22	20-25	109,83± 9,23
средняя часть		113	55-80	9,5±1,21	17,3±1,35	15-20	97,4±4,56
подножье		98		8,9±0,98	15,8±2,11	20-30	78,6±6,78
30-35 летние:							
верхняя часть		91	90-95	7,5±1,21	15,2±0,97	20-25	68,25±6,78
средняя часть		74	80-85	6,3±0,97	13,4±1,34	15-20	56,5± 2,36
подножье		66	80-90	8,7±0,89	16,9±2,23	20-25	67,5±5,68
Целинная степь – контроль		73	85-95	7,56±1,23	14,3±0,98	20-25	114,05±8,89
Отвалы Старого (Бодрак) карьера в предгорной зоне							
2-3 летние		71	20-35	6,4±0,24	9,1±0,47	35-45	61,35± 3,44
5-8-летние		83	60-75	7,5±0,7	16,3±0,78	20-40	40,47± 2,83
10-15 летние:							
верхняя часть		92	70-80	7,6±0,39	13,4±1,7	25-40	55,92 ± 4,21
средняя часть		106	65-80	5,8±0,21	9,7±0,78	10-30	68,32 ± 4,98
подножье		73	60-70	5,3±0,6	8,1±0,59	30-40	58,01 ± 5,01
30-35 летние:							
верхняя часть		87	50-65	9,1±1,31	13,4±1,21	15-25	80,94 ± 7,43
средняя часть		76	55-75	7,9± 0,98	11,4 ±0,99	20-35	71,64 ±5,92
подножье		69	60-75	6,6 ±1,01	10,9 ±0,87	25-35	76,69 ±5,45
Целинная степь – контроль		90	75-85	11,6±0,86	21,6±5,21	15-25	68,32±5,43

По видовой насыщенности в предгорной зоне эти показатели выше почти в полтора раза, особенно на учетных площадках 0,25м<sup>2</sup> составляет 9,1±0,47 г, как и по высоте травостоя (35-45 см), что вполне закономерно,

т.к. известковая тырса и мелкозем создают более благоприятные абиотические условия по задержанию влаги, чем мелкораздробленные частички известняка-ракушечника на отвалах месторождения в степной зоне. Сравнение интенсивности продукционного процесса на 2-3-летних отвалах (средние данные за 3 года), позволяет сделать вывод, что этот процесс в равнинном Крыму идет более активно в основном из-за большего участия однолетних видов, которые интенсивнее, чем многолетники реализуют свой биотический потенциал в течение сезона.

На отвалах 5-8-летних наблюдается стремительный рост флористического состава, причем в степной зоне он более интенсивен (100 видов) по сравнению с предгорной (83 видов), но если при анализе компонентного состава на равнине преобладают однолетники, то в предгорьях ведущей группировкой становятся поликарпические виды (53%) с более высоким проективным покрытием (60-75%). Наиболее обильны длиннокорневищные и корнеотпрысковые растения. Здесь формируются разнотравно-полынно-злаковые группировки с сомкнуто-групповой структурой размещения. Особенно выделяются заросли *Tanacetum millifolium* в сочетании с *Thymus eupatoriensis*, *Artemisia taurica* с *Poa sterilis*, в степной зоне – *Diploaxis tenuifolia* с *Artemisia lerchiana* и др. Диффузно встречаются *Aspetula vestita*, *Eryngium campestre*, *Falcaria vulgare* и др. Сообщества не замкнуты и новые виды легко внедряются в них. Эти сложные группировки обладают признаками амфиценоiticности, т.к. в них идет смешение разновозрастных популяций видов и экологических группировок.

При значительном видовом разнообразии численность особей в популяциях многих растений невысокая. Индекс видового сходства Жаккара между отвалами данного возраста и контролем в степной зоне – 35,2%, в лесостепной ниже – 30,5%, что указывает на относительное сближение экологических условий в сравниваемых сериях сукцессии.

Видовая насыщенность на учётных площадках 0,1 и 0,25 м<sup>2</sup> отвалов в степной зоне возрастает в два и более раза, тогда как в предгорьях на отвалах этого же возраста данные показатели не так контрастны. Видимо здесь усиливаются позиции многолетних видов, которые быстро занимают экологические ниши однолетников. Этот вывод подтверждают и данные по продуктивности, которая на отвалах 5-8-летнего возраста на Старом (Бодрак) карьере в предгорьях ниже в два раза, чем на равнинной территории (табл.2). Ведущими по биомассе в укосах отмечены: *Artemisia taurica*, *Euphorbia virgata*, *Koeleria cristata*, *Setaria viridis* и др. Где угол уклона отвальной поверхности более 15°, идет смыв накапливающегося

за счет ветровых потоков с полей мелкозема и на южных склонах общее проективное покрытие ниже.

Широкий диапазон биологической, экологической и позиционной неоднородности особей разного возрастного и жизненного состояния, различной реакции на среду, характера степени её использования и преобразования – основной фактор в большой амплитуде абиотических условий карьеров от благоприятных до пессимальных. По соотношению особей в укосах при оценке продукционного процесса разного возрастного и жизненного состояния можно судить не только о степени адаптации этих ценопопуляций в данных сложных группировках, но и прогнозировать пути их развития на этой территории в зависимости от изменения экологической обстановки.

К 10-15-летнему возрасту на отвалах формируются сложные полидоминантные группировки, переходящие в открытые фитоценозы. Травостой двуярусный с высоким уровнем сомкнутости. Флористическое разнообразие достигает апогея (106-113 видов), участие инвазивных популяций резко снижается на обоих карьерах, нормальные популяции растений занимают главенствующее положение в составе регенерационных биогеоценозов. Длиннокорневищные виды постепенно замещаются на короткоползучие и плотнокустовые. Для более детального анализа мы эти отвалы разделили на 3 территории: верхняя и средняя части, а также подножье, изучая все выше перечисленные параметры более дифференцированно. Было установлено, что наибольшее флористическое разнообразие отмечено в средней части на обоих карьерах, самые низкие показатели оказались у подножья отвалов. Возможно, это связано с периодическим осыпанием грунта, большим уплотнением скелетной массы, но полагаем, что все же ведущий фактор – влагообеспеченность. В составе растительности этих территорий ведущие виды – ксерофиты и ксеромезофиты, предпочитающие хорошо прогреваемые солнечные склоны. Эти выводы подтверждаются и данными по продуктивности на контрольных площадках. На 10-15-летних отвалах карьера вблизи Мамайских каменоломен продуктивность наивысшая именно в верхней части (109,8 г/0,25м<sup>2</sup>), снижаясь к подножью до 78,6 г/0,25м<sup>2</sup>, на Старом (Бодрак) карьере показатели продуктивности по склону от верхней части до низа отвала существенно меньше и достаточно близки (55,92 - 68,32 г/0,25м<sup>2</sup>). Здесь уже можно выделить преимущественно ассоциации: *Bothryochloa ischemum* – *Poa sterilis* – *Thymus callieri*, в степной зоне – *Peganum garmala* – *Artemisia austriaca* – *Poa compressa*. Субдоминантами являются: *Tanacetum millifolium*, *Festuca rupicola*, *Dianthus pseudoarmeria*, *Falcaria vul-*

*gare* и др. Следовательно, именно отвалы данного возраста характеризуются наиболее высокой экологической емкостью этих экотопов, независимо от климатической зоны.

К 30-35 годам повышается степень сомкнутости травостоя, особенно это заметно на отвалах в степной зоне, достигая 80-95% и по этому показателю приближаясь к контрольному участку. В предгорной части эти величины существенно ниже, причем выявлена значительная вариабельность общего проективного покрытия от верхней части склона отвала (50-65%) к его подножью (60-75%). Также снижается и флористическое разнообразие на обоих карьерах (табл. 2). Очевидно, это характеризует обострение конкурентной борьбы за существование, резкого уменьшения экологических ниш, что приводит к затруднению проникновения в эти биогеоценозы новых видов. Главенствуют злаки *Bothryochloa ischemum*, *Stipa capillata*, *Agropyron pectiniforme*. В укосах снижается роль: *Linum austriacum*, *Scabiosa argentrea*, родов *Bromus* и *Egilops*. Полностью выпадают из травостоя *Gypsophyla paniculata*, *Rumia crithmifolia*, *Valerianella coronate* и др. Здесь можно выделить ассоциации: *Bothryochloa ischemum* - *Stipa capillata* – *Zerna riparia* и *Poa sterilis* – *Festuca rupicola* – *Teucrium polium*. В результате к 30-35 годам происходит замена группировок предшествующих лет на фитоценозы, приближающиеся по структуре и сложению к контрольным участкам. Но в условиях техногенного субстрата наступление заключительных этапов естественной демутиации проблематично.

В сложении коренной ненарушенной целинной степи в окрестностях карьера в степной зоне можно выделить ассоциации: *Agropyron ponticum* – *Festuca rupicola* – *Teucrium chamaedrys* и *Stipa capillata* – *Medicago romatica* – *Salvia nemorosa* – *Marrubium peregrinum*, в предгорной зоне: *Stipa capillata* + *Bothryochloa ischemum* – *Elytrigia repens* и *Elytrigia repens* – *Artemisia taurica* – *Koeleria cristata* – *Cynodon dactylon*.

Коэффициент сходства Жаккара по флористическому разнообразию регенерационных биогеоценозов при сопоставлении 30-35-летних отвалов с зональным степным фитоценозом (контроль) в степной зоне равен 57,7%, в предгорной зоне соответственно 47,3%. Это указывает на то, что процессы сингенеза изученных компонентов на отвалах еще очень далеки от сообществ климаксового типа.

Следовательно, структурно-функциональная организация фитоценозов на разновозрастных карьерах развивается как совокупность взаимодействующих друг с другом различных жизненных форм растений, которые находятся под жестким контролем ограниченных ресурсов азота и других

питательных веществ почвогрунтов. Все эти группировки по мере усложнения их структуры организованы по принципу оптимизации внутривидовой и межвидовой конкуренции, воспроизводство популяций этих видов строится как циклические системы, обладающие способностью преодолевать критически низкие величины, как элементов питания, так и экстремально высокие температурные режимы в течение сезонного развития и низкий уровень влагообеспеченности. Они выживают за счет высокого уровня генеративного размножения, обеспечивающего обновление резервного фонда новых генераций и жесткой конкуренции в подземной части сообществ, поэтому закономерен процесс снижения флористического разнообразия по мере увеличения возраста отвалов. Конкуренция между видами выполняет своеобразные функции корректирующего и дополняющего механизма, стабилизирующего видовой состав растений и обеспечивает адаптационные возможности сосуществования различных биоморф как непосредственного механизма вытеснения одних видов другими и заполнения освобождающихся экологических ниш, что во многом определяет характер этих взаимоотношений и механизмы конкурентных взаимодействий между популяциями внедряющихся видов.

### **Выводы**

Полученные результаты комплексных исследований разновозрастных промышленных отвалов карьеров в степном и предгорном Крыму позволили установить ряд региональных особенностей формирования регенерационных биогеоценозов:

1. Скорость почвообразования определяется в первую очередь стадией сукцессии растительности и абиотическими факторами среды, причем его интенсивность быстро замедляется после первого десятилетия. На первых этапах происходит абиогенная трансформация субстрата, которая заключается в перемещении и сортировке различных по гранулометрическому строению материалов. Идет перемещение мелкозема вниз по профилю, просадка грунта, образования понижений, т.е. происходит формирование внутреннего мезорельефа отвалов карьера. Следовательно, эти факторы значительно тормозят скорость почвообразования.

2. Направление почвообразовательного процесса в формирующихся молодых почвах биогеоценозов: состав гумуса, соотношение C:N и другие характеристики мало отклоняются от зонального типа. Следует также отметить очень низкие показатели валового азота на всех пробных участках с резким снижением на 10-15-летних отвалах (0,026%), даже старо-

возрастные участки еще очень далеки по этому параметру от целинной степи (1,18%). Напротив, содержание подвижного фосфора и калия имеют тенденцию плавного роста по мере увеличения возраста отвалов, но и их показатели еще очень далеки от контрольных участков целинной степи. На отвалах процесс выщелачивания только начался, поэтому геохимическая миграция в техногенной коре выветривания характеризуется лишь начальными этапами. Содержание гумуса в верхнем горизонте низкое (0,44-0,98%), т.е. процессы гумификации находятся также на начальных стадиях. Поэтому между процессом образованием гумуса и возрастом пробных участков нет прямо пропорциональной зависимости.

3. Экспозиция и крутизна склонов, большая неоднородность мезо- и микро рельефа, бедность субстрата элементами питания, его неблагоприятный механический состав, резкие колебания температур на поверхности отвалов, неустойчивость водного режима пород являются дополнительными препятствиями для активной биологической рекультивации этих территорий. Поэтому по всем изученным параметрам почвообразовательного процесса в степной и предгорной зоне Крыма эти техногенные почвогрунты еще очень далеки от ненарушенных контрольных участков и процесс этот растянут на многие десятилетия.

4. Особенностью пионерной группировки на 2-3 – летних отвалах обоя карьеров является высоко флористическое разнообразие (68-71 вид), что отличает их от карьеров других районов страны.

5. Участие однолетников стремительно снижается по мере роста возраста отвалов. В степной зоне на 2-3-летних отвалах в составе растительности они составляют 32,4%, в предгорной зоне их роль еще выше, достигая 43,7%. К 30-35 годам их значимость падает на отвалах в степной зоне до 20,9%, в предгорьях до 16,7%. Соответственно усиливаются позиции поликарпических видов в эти же временные сроки в степной зоне с 44,1% до 63%, в предгорьях эти показатели почти удваиваются – с 36,6% до 61,1%.

6. На отвалах 5-8-летних наблюдается стремительный рост флористического состава, причем в степной зоне он более интенсивен (100 видов) по сравнению с предгорной (83 видов), но если при анализе компонентного состава на равнине преобладают однолетники, то в предгорьях ведущей группировкой становятся поликарпические виды с более высоким проективным покрытием (60-75%). Продуктивность на отвалах 5-8-летнего возраста в предгорьях ниже в два раза, чем на карьере, расположенном в степи. Здесь усиливаются позиции поликарпических видов, которые занимают экологические ниши однолетников.

7. К 10-15-летнему возрасту на отвалах формируются разнотравно-попынно-злаковые группировки с сомкнуто-групповой структурой размещения, переходящие в открытые фитоценозы. Травостой двуярусный. Сообщества не замкнуты, новые виды легко внедряются в них. При значительном видовом разнообразии численность особей в популяциях многих растений невысокая. Флористическое разнообразие достигает апогея (106-113 в). На отвалах карьера в степной зоне продуктивность наивысшая именно в верхней части (109,8 г/0,25м<sup>2</sup>), снижаясь к подножью до 78,6 г/0,25м<sup>2</sup>. На Старом (Бодрак) карьере показатели продуктивности по склону от верхней части до низа отвала существенно меньше и достаточно близки (55,92 - 68,32г/0,25м<sup>2</sup>). Следовательно, именно отвалы данного возраста характеризуются наиболее высокой экологической емкостью экотопов, независимо от климатической зоны.

8. К 30-35 годам повышается степень сомкнутости травостоя, особенно это заметно на отвалах в степной зоне, достигая 80-95% и по этому показателю приближаясь к контрольному участку. В предгорной части эти величины существенно ниже, причем выявлена значительная вариабельность общего проективного покрытия от верхней части склона отвала (50-65%) к его подножью (60-75%). В результате к 30-35 годам происходит замена группировок предшествующих лет на фитоценозы, приближающиеся по структуре и сложению к контрольным участкам. Эти выводы подтверждают, как открытость сформировавшихся здесь регенерационных биогеоценозов, так и значительная длительность сукцессионных процессов. Также были выявлены виды растений, устойчивые к специфическим неблагоприятным абиотическим условиям карьеров.

9. Был рассчитан индекс видového сходства Жаккара между растениями, произрастающими на разновозрастных карьерах и контрольными участками. С учетом приуроченности к климатическим зонам установлено, что в равнинной части полуострова процесс формирования регенерационных биогеоценозов идет быстрее, чем в предгорьях, их сложение и структура ближе по компонентному составу популяций контрольного участка целинной степи. Эти данные также указывают на то, что процессы сингенеза изученных компонентов на отвалах сильно растянуты по временной шкале и еще очень далеки от сообществ климаксового типа.

Полученные результаты вносят определенный вклад в развитие теории протекания первичных сукцессий на техногенно нарушенных территориях данных климатических зон Крымского полуострова. Следовательно, ориентироваться на оптимизацию карьерно-отвальных комплексов только

через биологическую рекультивацию проблематично, необходимо планировать вопросы горно-технической рекультивации для возвращения этих территорий в хозяйственное использование.

### *Список литературы*

1. Боргникова Г.А, Межова Л.А, Луговский А.М, Евдокимов М.Ю, Ткачев А.Ю, Рихардт П.В. Геоэкологическая рекультивация и санация территории карьеров по добыче строительных материалов // Проблемы региональной экологии. 2018. N 6. С. 40-45.
2. Винюсева Г. В. Экологический анализ флоры и растительности окрестностей заброшенного мелового добывающего карьера у р.п. Старая Кулатка // Самарский научный вестник. N 2 (11). Самара: ПГСГА, 2015. С. 51 – 53.
3. Воробьева Л. А. Химический анализ почв. М.: МГУ, 1998. 272 с.
4. Государственная программа Республики Крым «Охрана окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Республики Крым на 2018-2020 годы», утвержденной постановлением Совета министров Республики Крым от 22 ноября 2017 года N 619. [https://meco.rk.gov.ru/uploads/txteditor/meco/attachments//d4/1d/8c/d98f00b204e9800998ecf8427e/phpmhxADT\\_1.pdf](https://meco.rk.gov.ru/uploads/txteditor/meco/attachments//d4/1d/8c/d98f00b204e9800998ecf8427e/phpmhxADT_1.pdf)
5. Дмитракова Я.А, Абакумов Е.В, Першина Е.В, Иванова Е.А, Андронов Е.Г. Динамика растительного сообщества и микробиома хроносерий посттехногенных почв в известняковом карьере в условиях рекультивации // Сельскохозяйственная биология. 2018. N3 (53). С.554-569.
6. Драган Н.А. Почвы Крыма. Симферополь: ТНУ, 2009. 95 с.
7. Ена А.В. Природная флора Крымского полуострова. Симферополь: Н. Орианда, 2012. 232 с.
8. Зеньков И., Вокин В., Кирюшина Е., Морин А., Миронова Ж., Кондрашов П., Федоров А., Веретеннова Т. Исследование формирования растительной экосистемы на участках нарушенных земель Айхальского горно-обогатительного комбината // Экология и промышленность России. 2020. N 24(1). С. 46-50. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-1-46-50>
9. Иванова Л.В. Зарубежный опыт решения проблем рекультивации земель, нарушенных в процессе недропользования // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. N 56. С. 491-498.
10. Ипатов В.С, Миркин Д.М. Описание фитоценоза: Методические рекомендации. СПб.: СПб Гос. Ун-т, 2008. 71 с.

11. Кобечинская В.Г, Ярош О.Б. Рекультивация на карьерно-отвалных комплексах техногенных территорий в предгорном Крыму // Экономика строительства и природопользования. 2021. N 1 (78). С 35-37.
12. Нестеренко В.П. Закономерности формирования климатических изменений и их прогноз на территории Крыма // Научные ведомости: Естественные науки. 2016. Вып. 36. N.18. 239 с.
13. Постановление Совета министров Республики Крым от 28.01.2020 № 22 «О проведении рекультивации и консервации земель и земельных участков на территории Республики Крым» [Официальный сайт Правительства Республики Крым] // Официальный интернет-портал правовой информации. <https://rk.gov.ru/ru/document/show/19884>
14. Федоркин С.И, Любомирский Н.В, Когай Э.А, Дудинская А.В. Сырьевая база строительных материалов Крыма и пути её расширения // Экономика строительства и природопользования. 2020. N4 (77). С. 66-71.
15. Хабирова Л.М. Самовосстановление растительного покрова карьеров по добыче строительных материалов на территории Республики Башкортостан. БГПУ, 2017. 223 с.
16. Diéguez-Aranda U. Modelling mortality of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantations in the northwest of Spain / Diéguez-Aranda U, Castedo-Dorado F, Álvarez-González, J. G, RodríguezSoalleiro // European Journal of Forest Research. 2005. No 124. P.143-153.
17. Ergina E.I, Ergin S.M, Sidorenko I.Ya.. Ecological and Economic Evaluation of the Disturbed Lands Recultivation Projects in the Republic of Crimea // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. No 459(2). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/2/022021>
18. Kochan R, Zawislak S, Bubela T, Ruda M, Boyko, T. Regeneration of forest stands by mycorrhiza to promote sustainable development of post-technogenic landscapes // 19th International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference SGEM. 2019. No.19(6.1). P. 881–888. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/6.1/S25.114>
19. Likhanova I.A, Kovaleva V.A. Controlled restoration of forest ecosystems on sandy technogenic substrates in the far northern taiga of the Russian European Northeast // Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta, Biologiya. 2018. No 43. P.174–195. <https://doi.org/10.17223/19988591/43/9>
20. Likhanova I.A, Kuznetsova Y.G, Novakovskiy A.B. Formation of Vegetative Cover in Quarries after Forest Recultivation in the Middle Taiga Subzone of the Komi Republic // Contemporary Problems of Ecology. 2021. No 14(7). P. 760–766. <https://doi.org/10.1134/S199542552107012X>

21. Likhanova I.A, Kuznetsova Y.G, Novakovskiy A.B. Vegetative Cover Forming in Quarries after Forest Recultivation Being Performed in Middle Taiga Subzone of the North-East of the European Russia // Russian Journal of Forest Science. 2020. No 5. P. 424–432. <https://doi.org/10.31857/S0024114820050095>
22. Prishchepov A.V, Myachina K.V, Kamp J, Smelansky I, Dubrovskaya S, Ryakhov R, Grudin D, Yakovlev I, Urazaliyev R. Multiple trajectories of grassland fragmentation, degradation, and recovery in Russia's steppes // Land Degradation and Development. 2021. No 32(11). P. 3220-3235. <https://doi.org/10.1002/ldr.3976>
23. Zenkov I.V., Le Hung T., Vokin V.N., Kirushina E.V., Latyntsev A.A., Kondrashov P.M., Pavlova P.L., Konov V.N., Lunev A.S., Skorniyakova S.N., Maglinets Yu.A., Raevich K.V. Technology Development for Mining-engineering Recultivation during Opencast Mining at Polymetallic Ore Deposits // Ecology and Industry of Russia. 2022. No 26(1). P. 54–59. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-1-54-59>

### References

1. Bortnikova G.A, Mezhoval L.A, Lugovskij A.M, Evdokimov M.Ju, Tkachev A.Ju, Rihardt P.V. Geojekologicheskaja rekul'tivacija i sanacija territorii kar'erov po dobyche stroitel'nyh materialov [Geoecological reclamation and sanitation of quarries for construction materials]. *Problemy regional'noj jekologii* [Problems of Regional Ecology], 2018, no. 6, pp. 40-45.
2. Vinyuseva G.V. Jekologicheskij analiz flory i rastitel'nosti okrestnostej zabroshennogo melovogo dobyvajushhego kar'era u r.p. Staraja Kulatka [Ecological analysis of flora and vegetation of the neighborhood of the abandoned Cretaceous mining quarry near the village of Staraya Kulatka]. *Samarskij nauchnyj vestnik* [Samara Scientific Herald], 2015, no. 2 (11), pp. 51-53.
3. Vorobyeva L.A. *Himicheskij analiz pochv* [Chemical analysis of soils]. MOSCOW: MSU, 1998, 272 p.
4. Gosudarstvennaja programma [State program of the Republic of Crimea]. *Respubliki Krym «Ohrana okruzhajushhej sredy i racional'nogo ispol'zovanija prirodnyh resursov Respubliki Krym na 2018-2020 gody»* [Environmental protection and rational use of natural resources of the Republic of Crimea for 2018-2020], approved by the Decree of the Council of Ministers of the Republic of Crimea], 2017, no. 619 (2). [https://meco.rk.gov.ru/uploads/txteditor/meco/attachments//d4/1d/8c/d98f00b204e9800998ecf8427e/phpmhxADT\\_1.pdf](https://meco.rk.gov.ru/uploads/txteditor/meco/attachments//d4/1d/8c/d98f00b204e9800998ecf8427e/phpmhxADT_1.pdf)
5. Dmitrakova Ja.A, Abakumov E.V, Pershina E.V, Ivanova E.A, Andronov E.G. Dinamika rastitel'nogo soobshhestva i mikrobioma hronoseriij posttehnogennyh

- pochv v izvesnjakovom kar'ere v uslovijah rekul'tivacii [Dynamics of the plant community and microbiome chronoserries posttechnogenic soils in the limestone quarry under reclamation]. *Sel'skhozjajstvennaja biologija* [Agricultural Biology], 2018, no. 3(53), pp. 554-569.
6. Dragan N.A. *Pochvy Kryma* [Soils of the Crimea]. Simferopol: TNU, 2009, 95 p.
  7. Yena A.V. *Prirodnaja flora Krymskogo poluostrova* [Natural flora of the Crimean Peninsula]. Simferopol: N. Orianda, 2012, 232 p.
  8. Zen'kov I., Vokin V., Kirjushina E., Morin A., Mironova Zh., Kondrashov P., Fedorov A., Veretenova T. Issledovanie formirovanija rastitel'noj jekosistemy na uchastkah narushennyh zemel' Ajhal'skogo gorno-obogatitel'nogo kombinata [Study of the formation of the plant ecosystem in the areas of disturbed lands of the Aikhal Mining and Processing Plant]. *Jekologija i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2020, no. 24(1), pp. 46-50. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-1-46-50>
  9. Ivanova L.V. Zarubezhnyj opyt reshenija problem rekul'tivacii zemel', narushennyh v processe nedropol'zovanija [Foreign experience in solving the problems of reclamation of lands disturbed during subsoil use]. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'* [Mountain Information and Analytical Bulletin], 2015, no. 56, pp. 491-498.
  10. Ipatov V.S., Mirkin D.M. *Opisanie fitocenoza: Metodicheskie rekomendacii* [Description of phytocenosis: Methodological recommendations]. Saint-Petersburg: Saint-Petersburg State University, 2008, 71 p.
  11. Kobechinskaja V.G., Yarosh O.B. Rekul'tivacija na kar'erno-otval'nyh kompleksah tehnogennyh territorij v predgornom Krymu [Recultivation at the quarry-disposal complexes of technogenic territories in the foothills of the Crimea]. *Jekonomika stroitel'stva i prirodopol'zovanija* [Economics of Construction and Nature Management], 2021, no. 1 (78), pp. 35-37.
  12. Nesterenko V.P. Zakonomernosti formirovanija klimaticeskikh izmenenij i ih prognoz na territorii Kryma [Patterns of formation of climatic changes and their forecast on the territory of the Crimea]. *Nauchnye vedomosti: Estestvennye nauki* [Nauchnye vedomosti: Natural science], 2016, issue 36, no. 18, 239 p.
  13. Postanovlenie Soveta ministrov Respubliki Krym [Decree of the Council of Ministers of the Republic of Crimea], 2020, No22. *O provedenii rekul'tivacii i konservacii zemel' i zemel'nyh uchastkov na territorii Respubliki Krym* [On the reclamation and conservation of lands and land plots on the territory of the Republic of Crimea]. [Official website of the Government of the Republic of Crimea]. <https://rk.gov.ru/ru/document/show/19884>
  14. Fedorkin S.I., Ljubomirskij N.V., Kogaj Je.A., Dudinskaja A.V. Syr'evaja baza stroitel'nyh materialov Kryma i puti ejo rasshirenija [Raw material base of

- building materials of Crimea and ways of its expansion]. *Jekonomika stroitel'stva i prirodopol'zovaniya* [Economics of Construction and Environmental Management], 2020, no. 4(77), pp. 66-71.
15. Khabirova L.M. *Samovosstanovlenie rastitel'nogo pokrova kar'erov po dobyche stroitel'nykh materialov na territorii Pespbliki Bashkortostan* [Self-vegetation of quarries for the extraction of construction materials in the Republic of Bashkortostan]. BGPU, 2017, 223 p.
  16. Diéguez-Aranda U. Modelling mortality of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantations in the northwest of Spain / Diéguez-Aranda U, Castedo-Dorado F, Álvarez-González, J. G, RodríguezSoalleiro. *European Journal of Forest Research*, 2005, no. 124, pp. 143-153.
  17. Ergina E.I., Ergin S.M., Sidorenko I.Ya. Ecological and Economic Evaluation of the Disturbed Lands Recultivation Projects in the Republic of Crimea. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, no. 459(2). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/2/022021>
  18. Kochan R., Zawislak S., Bubela T., Ruda M., Boyko T. Regeneration of forest stands by mycorrhiza to promote sustainable development of post-technogenic landscapes. *19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*, 2019, no. 19(6.1), pp. 881-888. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/6.1/S25.114>
  19. Likhanova I.A., Kovaleva V.A. Controlled restoration of forest ecosystems on sandy technogenic substrates in the far northern taiga of the Russian European Northeast. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta, Biologiya*, 2018, no. 43, pp. 174-195. <https://doi.org/10.17223/19988591/43/9>
  20. Likhanova I.A., Kuznetsova Y.G., Novakovskiy A.B. Formation of Vegetative Cover in Quarries after Forest Recultivation in the Middle Taiga Subzone of the Komi Republic. *Contemporary Problems of Ecology*, 2021, no. 14(7), pp. 760-766. <https://doi.org/10.1134/S199542552107012X>
  21. Likhanova I.A., Kuznetsova Y.G., Novakovskiy A.B. Vegetative Cover Forming in Quarries after Forest Recultivation Being Performed in Middle Taiga Subzone of the North-East of the European Russia. *Russian Journal of Forest Science*, 2020, no. 5, pp. 424-432. <https://doi.org/10.31857/S0024114820050095>
  22. Prishchepov A.V., Myachina K.V., Kamp J., Smelansky I., Dubrovskaya S., Ryakhov R., Grudin D., Yakovlev I., Urazaliyev R. Multiple trajectories of grassland fragmentation, degradation, and recovery in Russia's steppes. *Land Degradation and Development*, 2021, no. 32(11), pp. 3220-3235. <https://doi.org/10.1002/ldr.3976>
  23. Zenkov I.V., Le Hung T., Vokin V.N., Kirushina E.V., Latyntsev A.A., Kondrashov P.M., Pavlova P.L., Konov V.N., Lunev A.S., Skorniyakova S.N., Maglinets

Yu.A., Raevich K.V. Technology Development for Mining-engineering Recultivation during Opencast Mining at Polymetallic Ore Deposits. *Ecology and Industry of Russia*, 2022, no. 26(1), pp. 54-59. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-1-54-59>

### **ВКЛАД АВТОРОВ**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации

### **AUTHOR CONTRIBUTIONS**

The authors contributed equally to this article.

### **ДААННЫЕ ОБ АВТОРАХ**

**Кобечинская Валентина Григорьевна**, к.б.н., доцент кафедры экологии и зоологии

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Крымский Федеральный университет им. В.И. Вернадского»*

*просп. Вернадского, 4. г. Симферополь, 295015, Республика Крым, Российская Федерация*  
*valekohome@mail.ru*

**Ярош Ольга Борисовна**, д.э.н., профессор кафедры маркетинга, торгового и таможенного дела

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Крымский Федеральный университет им. В.И. Вернадского»*

*просп. Вернадского, 4. г. Симферополь, 295015, Республика Крым, Российская Федерация*  
*Iarosh.olga.cfu@gmail.com*

**Просьянникова Ирина Борисовна**, к.б.н., доцент кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Крымский Федеральный университет им. В.И. Вернадского»*

*просп. Вернадского, 4. г. Симферополь, 295015, Республика Крым, Российская Федерация*  
*aphanisomenon@mail.ru*

---

---

**DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Valentina G. Kobechinskaya**, PhD, Docent of the Ecology and Zoology Department

*V.I. Vernadsky Crimean Federal University*

*4, Vernadsky Str., Simferopol, Russian Federation*

*valekohome@mail.ru*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9467-9533>*

*Scopus Author ID: 57210976735*

**Olga B. Yarosh**, Doctor of Economics, Professor of the Department of Marketing, Trade and Customs

*V.I. Vernadsky Crimean Federal University*

*4, Vernadsky Str., Simferopol, Russian Federation*

*iarosh.olga@gmail.com*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9663-2528>*

*SPIN-code: 7140-3642*

**Irina B. Prosyannikova**, PhD, Docent of the Botany and Physiology of Plants and Biotechnology

*V.I. Vernadsky Crimean Federal University*

*4, Vernadsky Str., Simferopol, Russian Federation*

*aphanisomenon@mail.ru*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6661-1064>*

Поступила 05.12.2022

После рецензирования 27.12.2022

Принята 30.12.2022

Received 05.12.2022

Revised 27.12.2022

Accepted 30.12.2022

## МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

## INTERDISCIPLINARY RESEARCH

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-436-457

УДК 334.012.6



Научная статья | Формы хозяйственных организаций

**ПОРЯДОК УЧАСТИЯ СУБЪЕКТОВ  
МАЛОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА-  
СЕЛЬХОЗТОВАРОПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ  
В ГОСУДАРСТВЕННОМ ЗАКУПОЧНОМ ПРОЦЕССЕ**

*С.Н. Коваленко, Н.А. Проданова,  
Н.Д. Георгадзе, А.А. Сергеенков*

**Обоснование.** В настоящее время в России доминирующее положение занимают агропромышленные холдинги, что формирует определенные диспропорции как в сельскохозяйственном, так и в перерабатывающем производствах агропромышленного сектора экономики. В связи с чем необходимо создавать условия для полноценного функционирования СМП-сельхозтоваропроизводителей. Для этого могут быть использованы кооперация, заключение договоров контрактации или участие в государственных и муниципальных закупках.

**Цель.** Определение алгоритма участия СМП-сельхозтоваропроизводителей в закупочном процессе на государственном и муниципальном уровнях. Работа носит теоретический характер и направлена на разработку методических подходов осуществления государственных и муниципальных закупок у СМП-сельхозтоваропроизводителей.

**Материалы и методы.** Исследование опирается на законодательные и нормативные акты и, вместе с тем, на мнения разных авторов на проблему участия СМП в контрактной системе государственных и муниципальных закупок.

**Результаты.** В ходе исследования были рассмотрены законодательные и нормативные акты в отношении проведения закупок разного уровня; дана оценка участия субъектов малого предпринимательства-сельхозтоваропро-

изводителей в сфере государственных закупок; сформированы алгоритмы участия данного рода субъектов в закупочном процессе.

**Заключение.** В результате были выявлены различные аспекты и особенности участия субъектов малого предпринимательства в государственных закупках.

**Ключевые слова:** сельское хозяйство; субъекты малого предпринимательства; сельхозтоваропроизводители; малый бизнес; закупки; заказчик; поставщик

**Для цитирования.** Коваленко С.Н., Проданова Н.А., Георгадзе Н.Д., Сергеевков А.А. Порядок участия субъектов малого предпринимательства-сельхозтоваропроизводителей в государственном закупочном процессе // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №3. С. 436-457. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-436-457

Original article | Forms of Economic Organization

## THE PROCEDURE FOR THE PARTICIPATION OF SMALL BUSINESS ENTITIES-AGRICULTURAL PRODUCERS IN THE PUBLIC PROCUREMENT PROCESS

*S.N. Kovalenko, N.A. Prodanova,  
N.D. Georgadze, A.A. Sergeenkov*

**Background.** Currently, agro-industrial holdings occupy a dominant position in Russia, which creates certain imbalances both in the agricultural and processing industries of the agro-industrial sector of the economy. In this connection, it is necessary to create conditions for the full functioning of SMP-agricultural producers. For this purpose, cooperation, conclusion of contracts or participation in state and municipal procurement can be used.

**Purpose.** Determination of the algorithm of participation of SMP-agricultural producers in the procurement process at the state and municipal levels. The work is theoretical in nature and is aimed at developing methodological approaches to the implementation of state and municipal purchases from agricultural producers.

**Materials and methods.** The study is based on legislative and regulatory acts and, at the same time, on the opinions of various authors on the problem of the participation of SMEs in the contract system of state and municipal procurement.

**Results.** *In the course of the study, legislative and regulatory acts were considered in relation to procurement of various levels; an assessment of the participation of small businesses-agricultural producers in the field of public procurement was given; algorithms for the participation of this kind of entities in the procurement process were formed.*

**Conclusion.** *As a result, various aspects and features of the participation of small businesses in public procurement were identified.*

**Keywords:** *agriculture; small business entities; agricultural producers; small business; procurement; customer; supplier*

**For citation.** *Kovalenko S.N., Prodanova N.A., Georgadze N.D., Sergeenkov A.A. The Procedure for the Participation of Small Business Entities-Agricultural Producers in the Public Procurement Process. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 436-457. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-436-457*

## Введение

Стратегия экономической безопасности Российской Федерации до 2030 года определяет вопросы обеспечения эффективности в сфере закупок для государственных нужд как приоритетные, поскольку она позволяет, с одной стороны, оценить качество работы государственных заказчиков как основных участников рынка закупок, а с другой выступает комплексным показателем, включающим многообразие ряда критериев, оценка которых позволяет выявить направления совершенствования организации непосредственного самого процесса государственных закупок.

Кроме того, в настоящее время основной задачей выступает увеличение «объемов производства продовольственных товаров и своевременная доставка их потребителю, что способствует обеспечению продовольственной безопасности страны» [21]. Как отмечает Г.Ю.Митяшин: «в этих условиях большое значение имеет разработка глобальной и национальной стратегии продовольственной безопасности, которая позволила бы обеспечить население нашей страны и планеты устойчивый доступ к продуктам питания [6].

Но вместе с тем, как указывает В.Плотников, основными ограничениями выступают: технологические, земельные, трудовые, инфраструктурные и др. Для их преодоления рекомендуется использовать инструменты инновационной, научно-технологической, финансовой, инвестиционной, устойчивого развития и других видов государственной политики. Институциональные потрясения, которые приводят к кризисам, по мнению автора, оказывают значительное влияние на продовольственную безопасность [26].

В настоящее время в России доминирующее положение занимают агропромышленные холдинги, что формирует определенные диспропорции как в сельскохозяйственном, так и в перерабатывающем производствах агропромышленного сектора экономики. В частности, автор О.В. Анчишкина подтверждает данный факт, отмечая, что «модель национального рынка государственных закупок характеризуется выраженным доминированием во всех субъектах Российской Федерации крупных, системных поставщиков» [3].

В связи с чем необходимо создавать условия для полноценного функционирования СМП-сельхозтоваропроизводителей. Для этого могут быть использованы кооперация [24], заключение договоров контрактации [23] или участие в государственных и муниципальных закупках [1, 5].

Но вместе с тем автор А.Д. Чигрин указывает на отдельные факторы, которые ограничивают участие СМП в закупках. В частности, «... развитие и значительное расхождение между ролью СМП России и зарубежных государств предопределяет не отсутствие государственной поддержки сектора как такового, а продолжение общих макроэкономических проблем отечественной экономики» [22]. Более того «... низкий платежеспособный спрос и неразвитая бизнес-инфраструктура в некоторых областях деятельности СМП затрудняет их доступ к источникам финансирования для развития бизнеса» [20]. Данные проблемы характерны, в том числе и для отечественных сельскохозяйственных товаропроизводителей.

### **Цель исследования**

Целью исследования выступает определение алгоритма участия СМП-сельхозтоваропроизводителей в закупочном процессе на государственном и муниципальном уровнях. Работа носит теоретический характер и направлена на разработку методических подходов осуществления государственных и муниципальных закупок у СМП -сельхозтоваропроизводителей.

### **Материал и методы исследования**

Исследование опирается на законодательные и нормативные акты и, вместе с тем, на мнения разных авторов на проблему участия СМП в контрактной системе государственных и муниципальных закупок. Одни авторы рассматривают участие СМП-сельхозтоваропроизводителей в контексте обеспечения продовольственной безопасности государства [6, 21, 26] и с этим нельзя не согласиться. Другие указывают на концентрацию контрактов у крупных, системных поставщиков в разрезе субъектов Рос-

сийской Федерации [3], что в свою очередь замедляет процесс включения в контрактную систему закупок СМП-сельхозтоваропроизводителей. Третьи описывают развитие СМП, в том числе сельхозтоваропроизводителей, через механизмы государственной поддержки [19, 22]. Зарубежные авторы связывают государственные закупки, в первую очередь, с внешними политическими и экономическими процессами в отношении развивающихся стран, отмечая, что отдельные соглашения усложняют механизмы получение выгод от государственных закупок для инноваций [25].

Методологической базой исследования выступили качественные и количественные методы, к числу которых относятся приемы оценки статистических данных, затрагивающих порядок формирования информации о закупочном процессе.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

В первую очередь, законодательную основу формирует Федеральный закон №44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» [16], в рамках которого определяется участие малых, средних организаций в закупках, невзирая на их организационно-правовую форму и отрасль деятельности. Первым элементом оценки в рамках данного закона определяется фактор установления необходимого минимума для покупки у СМП, в частности сельхозтоваропроизводителя. Общий объем закупок не должен быть менее 15% от общей составляющей всех закупок. Вторым элементом выступает косвенная поддержка участия в госзакупках на законодательном уровне. Третьим элементом считается введение упрощенной системы начисления штрафов ввиду недобросовестного выполнения обязательств, представленных в контракте. Заключительным элементом прописан сокращенный формат сроков оплаты заказов подрядчиками и поставщиками в рамках СМП, в том числе сельхозтоваропроизводителями, такая мера также стимулирует деятельность малых организаций на государственном уровне и считается действенной [4].

В соответствии с Федеральными законами №44-ФЗ и №223-ФЗ [16, 17] можно сформировать алгоритм участия СМП-сельхозтоваропроизводителей в закупочном процессе (рисунок 1):

Как отмечалось ранее, государственные закупки выступают в качестве фактора поддержки малого бизнеса в РФ, в том числе сельскохозяйственных организаций. В вышеупомянутом, Федеральном законе №44-ФЗ, части 4, ст. 27 говорится о том, что в случае осуществления деятельности

малыми предприятиями закупок на государственном уровне, выделяется ряд преимуществ для подобных фирм [16].



**Рис. 1.** Алгоритм участия СМП-сельхозтоваропроизводителей в закупочном процессе

В свою очередь, заказчики и иные исполнители должны осуществлять общий объем закупок СМП-сельхозтоваропроизводители не менее 15% от общей составляющей всех закупок. В рамках исключения рассматриваются закупочные процессы: обеспечения оборонной отрасли и безопасности государства; услуги по предоставлению кредитования; у поставщика или исполнителя, считающимся единственным (согласно Федеральному закону №44-ФЗ); атомной составляющей в рамках работ по его использованию; закрытого типа, при деятельности которых конфиденциальным образом идет составление списка подрядчиков, поставщиков и иных исполнителей.

Федеральный закон №44-ФЗ также предусматривает два пути ведения закупок в рамках СМП-сельхозтоваропроизводителей. К ним относятся: осуществление конкурсной составляющей, включая участие в ограниченном режиме; также конкурсов, проводимых в несколько этапов; соревнований с введением электронного вмешательства; запросы различного характера котировок и иных предложений [16].

Участниками ограниченного формата будут считаться только СМП-сельхозтоваропроизводители, начальная сумма контракта которых не должна превышать определённой суммы. В рамках данного конкурса: максимальная ставка 20 млн. руб.; проведение закупок для форм ведения бизнеса, входящих в список СМП. Производится методом составления извещения о ведении закупок, включая требования к поставщикам и иным исполнителям.

Подводя итог, можно сказать о том, что в рамках определения поставщиков в отношении проведения конкурса, включая участие в ограниченном режиме, также конкурсов, проводимых в несколько этапов, соревнований с введением электронного вмешательства, запросов различного характера котировок и иных предложений определяется ограничение по закупкам для СМП, обладающих исключительным правом участия.

В случае если в контракт включён перечень ограничивающих факторов, действующих для СМП-сельхозтоваропроизводителя, должен быть непременно введен обязательный пункт оплаты поставщиком определённого товара или услуги, включая обособленных статей контракта, не более чем через 30 дней в рамках подписания документа о прием.

Существует определённого рода декларация участника закупки, регламентирующая его вхождение в состав СМП. Данный документ был введен соответствующим письмом Министерства экономического развития России с содействием Федеральной антимонопольной службой России. Иной документации в рамках рассматриваемого случая не требуется [7].

Рассматривая нормативный характер ведения деятельности в рамках государственных закупок, существует Постановление Правительства РФ №1352, устанавливающее уникальные черты субъектов малых и средних организаций в рамках закупок товаров, работ, услуг. Данным Постановлением было введено соответствующее Положение, регламентирующее участие юридических лиц в закупках на уровне Федерального закона №223-ФЗ, формирующего закупки товаров (работ, услуг) обособленными аспектами юридических лиц [10]. Данным Положением регламентирован определённый уровень годового объема закупок малого и среднего бизнеса, в том числе для сельхозтоваропроизводителей, в аспекте существующих заказчиков и других исполнителей. Он не должен превышать 18% от общего объема стоимости договоров, которые были подписаны в рамках совершенных закупок. Принимая в расчет этот факт, совокупная стоимость договоров, которые были подписаны в результате совершенных закупок, не должна превышать 10% от общего годового объема. При этом договоры формируются в исключительных рамках участников СМП.

Как уже отмечалось ранее, заказчики и другие исполнители, работающие в рамках заключенного контракта, прописанного в Федеральном законе №44-ФЗ, должны закупать товары, услуги и иные виды продукции у малых организаций [16, 8]. Существует два варианта в рамках выполнения данного регламента в 15%. Первый вариант предполагает осуществление закупок исключительно в формате СМП. Второй же вариант учитывает формат на основе документа, в рамках которого малые организации в качестве субподряда участвуют в исполнении договора, исходя из проведенных ранее конкурсов, в контексте которых малое предприятие заняло первое место.

Важно отметить, что СМП-сельхозтоваропроизводители имеют право своего участия во всех предоставленных закупках, проводимых в неограниченном формате. Немаловажным фактом считается непосредственно участие на конкурсе, который подразумевает собой не только конкурс как таковой, но и аукцион, запросы котировок и предложений. Именно в таких форматах должен осуществляться отбор на закупки в контексте сельскохозяйственной продукции [12, 13].

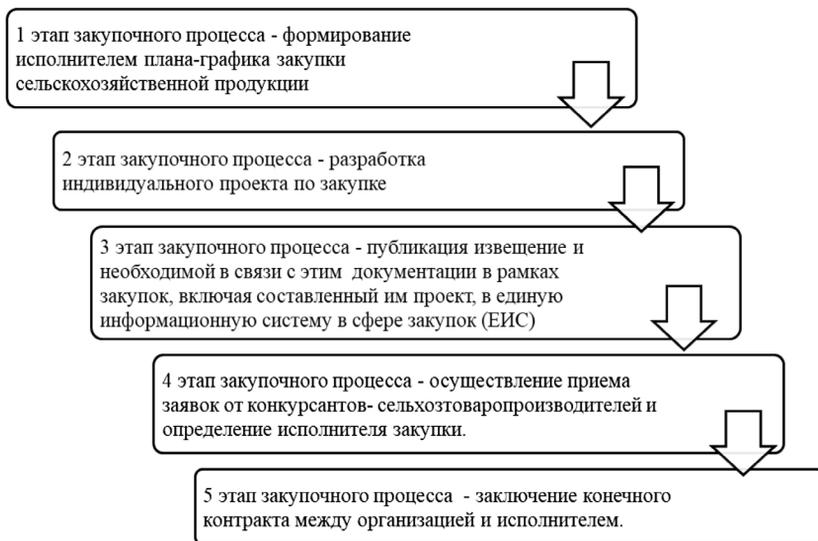
Письмом Министерства экономического развития России была регламентирована особая поправка, в рамках которой заказчик или иной исполнитель не может отказаться от проведения закупки в аспекте малого и среднего бизнеса ввиду того, что была регламентирована цена контракта в 20 млн. руб. Кроме того, Письмом Министерства экономического развития России прописано отсутствие определенного формата закупок. Не существует конкретного списка, а именно, заказчик, подрядчик или другой исполнитель определяет аспект нужных ему закупок на самостоятельной основе [7, 9].

В рамках осуществления закупок СМП-сельхозтоваропроизводителей на основании Федерального закона №44-ФЗ можно выделить следующие этапы, сформированные на рисунке 2.

*1 этап.* Исполнитель записывает нужную ему закупку в план-график. Этот факт свидетельствует о том, что существует вероятность подписания интересного формата закупок у конкурсанта и, соответственно, осуществить более тщательную подготовку.

При этом плане исполнитель обязательно указывает критерии преимуществ для СМП-сельхозтоваропроизводителей. В плане-графике исполнитель записывает нужный вариант ответа в рамках регламентированного места для ответа в строке, предназначенной для СМП, в частности для сельхозтоваропроизводителей. В конечных строках документа, предна-

значенных для записи запланированных закупок для СМП, исполнителю следует указать следующие факторы: начальную максимальную стоимость контракта; платежа текущего периода; платежа будущих периодов.



**Рис. 2.** Этапы осуществления закупочного процесса для СМП-сельхозтоваропроизводителей

*II этап.* Исполнителем разрабатывается индивидуальный проект в рамках заключенного контракта. Обязательным пунктом проекта считается условие об оплате. Исходя из регламентированных условий в рамках письма Министерства экономического развития РФ, исполнитель обязан внести оплату за контракт в течение 15 дней со дня его подписания. Также уточняется, что изменить регламент оплаты можно только в сторону уменьшения срока оплаты [7].

*III этап.* Исполнитель публикует извещение и необходимые документы в рамках закупок, включая составленный им проект, в единую информационную систему в сфере закупок (ЕИС). В извещении должен быть прописан формат закупок исключительно в аспекте СМП, в частности сельхозтоваропроизводителя. Таким образом участие других конкурсантов становится ограниченным. Этот факт также прописан в Федеральном законе №44-ФЗ. Для того, чтобы повысить вероятность получения более выгодных условий участия в закупках, нужно на сайте ЕИС в разделе извещений рассматри-

вать исключительно аспект участия в рамках малого и среднего бизнеса [8, 9]. Другие конкурсанты не смогут участвовать в данном виде конкурса. Федеральный закон №44-ФЗ также регулирует размер обеспечения заявки. Минимально возможный процент – в рамках, установленных документом начальной максимальной стоимости контракта, 5% – в рамках подписания контракта абсолютно для всех конкурсантов. Подтверждение того факта, что конкретный конкурсант относится именно к субъекту малого или среднего бизнеса, прописано в декларации. Перечень документации, который может быть нужен для заказчика, прописан в рекомендациях [12].

*IV этап.* Осуществляется прием заявок от конкурсантов закупок. Федеральный закон №44-ФЗ регулирует прием заявок на основе конкурса, аукциона, запроса котировок и предложений. Комиссия, назначенная на рассмотрение заявок, принимает в этом непосредственное участие. При этом любой конкурсант имеет право находиться на процедуре вскрытия конвертов. Также комиссия определяет победителя конкурса в срок, установленный исполнителем и прописанный в документации. В случае проведения аукциона в режиме применения информационных технологий используют специальную электронную платформу [7, 16]. В таком случае конкурсант должен подать новый перечень документов, и отбор происходит в два шага. Первым шагом следует снизить цену контракта для того, чтобы была корректно осуществлена подача документов. Вторым шагом все участники за исключением лидера команд вправе повысить цену по своим предложениям. В завершении проведения электронного формата аукциона электронная торговая площадка формирует результаты и направляет их непосредственно исполнителю. Далее комиссия рассматривает поданные заявки и признает одну из них победителем в том случае, если она будет отвечать требованиям, прописанным в документации [8].

*V этап.* Заключение конечного контракта между организацией и исполнителем. После внесения определенного обеспечения победителем конкурса, контракт может быть заключен. В случае проведения электронного аукциона, контракт заключается непосредственно в рамках онлайн площадки в электронном виде.

Заказчики в соответствии с заключенным контрактом производят приемку сельхозпродукции и продовольствия по срокам и условиям предусмотренным договором. Прием продукции и продовольствия осуществляет представитель заказчика или приемочная комиссия. Следует также отметить, что для СМП в отношении приемки продукции нет определенных исключений. На данном этапе, по сути, производится экспертиза продукции.

В контексте документов проверяется: количественные и качественные параметры сельхозпродукции; условия перевозки; срок годности; сохранности упаковочной тары. В рамках документального подтверждения представляются счет-фактура; товарная накладная; декларация или сертификат соответствия а также документы, подтверждающие страну происхождения продукции.

Федеральный закон №44-ФЗ регламентирует перечень льгот для малого бизнеса, в то время как Федеральный закон №223-ФЗ распространяется исключительно на отдельные категории юридических лиц. В таком аспекте формирования закупок устанавливаются ограничения для других конкурсантов на участие. Правила об установленных ограничениях прописывают в рамках составления извещения и документов о закупке. Исходя из двух вышеперечисленных Федеральных законов, существует ряд льгот. К таковым по закону №44-ФЗ относятся: максимально возможный размер обеспечения заявки в рамках 2% от изначальной стоимости контракта; максимально возможный срок оплаты по договору в рамках, не превышающих 15 рабочих дней с момента подписания договора о приеме. К льготам по закону №223-ФЗ будут относиться: максимально возможный размер обеспечения договора в рамках, не превышающих 20 дней со дня принятия решения о заключении договора; максимально возможный срок оплаты по договору в рамках, не превышающих 30 календарных дней, считая день исполнения по обязательствам; заявки и контракты могут быть осуществлены несколькими возможными способами: наличные средства, гарантия из банка, иной способ, прописанный в законе; максимально возможный размер обеспечения заявки в рамках 2% от изначальной стоимости контракта; максимально возможный размер обеспечения договора в рамках 5% от изначальной стоимости договора; регламентирована кампания партнерских отношений.

В рамках №44-ФЗ с 1 января 2022 года лимит на долю закупок госорганами у предприятий СМП, в том числе сельхозтоваропроизводителей, увеличивается с 15% до 25% совокупного годового объема, в том числе в рамках реализации № 209-ФЗ [18]. В рамках реализации Федерального закона №223-ФЗ – с 20% до 25%, что, в конечном счете, по мнению аналитиков, должно дать возможность бизнесу активнее участвовать в тендерах и предлагать свои услуги, особенно сельскохозяйственным товаропроизводителям. При этом, по данным Единого реестра СМП, только в Санкт-Петербурге по состоянию на сентябрь 2021 года, действует свыше 341 тыс. организаций данного рода. Однако участвуют в поставках товаров и услуг для государственного рынка лишь малая доля компаний. Согласно мониторинговым данным по Северо-западному федеральному округу, за

период первого квартала 2021 года, было помещено 267 тыс. извещений о закупках, в формате которых непосредственными участниками выступают СМП, в том числе сельхозтоваропроизводителей, в процентном отношении данный показатель составляет 56% всех извещений [2].

Статистические данные, приведенные О. Анчишкиной, свидетельствуют о неоднородности в структуре рынка государственного и муниципального закупок процессов и, как один из приоритетных факторов, это доминирующее положение крупных игроков [3]. Данный факт также не идет на пользу развитию государственных закупок, в том числе в отношении сельхозтоваропроизводителей, в сфере СМП.

С начала текущего 2022 года существенный прирост объемов в закупочном процессе показали СМП Сахалинской области - 471%, Крыма - 414%, Астраханской – 294%, Оренбургской области – 292%, Карелии - 279%. Кроме того, следует указать на то, что более остальных по сравнению с предшествовавшими периодам выросли объемы закупок по обеспечению питанием (в пять раз).

В последнее время достаточно большое внимание со стороны государственных структур и исследований разных авторов уделяется продовольственной безопасности [6]. В соответствии с этим ФЗ РФ №44-ФЗ сформулированы основные положения о национальном режиме в отношении продукции сельскохозяйственного назначения и ее переработки. Кроме этого, действуют Постановления и Указы по запрету ввоза сельскохозяйственной продукции и продовольствия из США и государств-членов ЕС, в период до 31 декабря 2022 года. Более того к отечественной сельхозпродукции, сырью и продовольствию приравнена, в настоящее время, продукция Донецкой и Луганской областей. Следует также отметить, что контрактное законодательство ограничивает государственные и муниципальные закупки у СМП пищевой продукции ввезенной на территорию России из определенного перечня государств.

Кроме электронных площадок закупки сельскохозяйственной продукции на государственном уровне осуществляются через АО «Национальная товарная биржа». Если рассматривать особенности товарных аукционов для сельхозтоваропроизводителей, то они будут формироваться в виде:

- осуществляются в виде односторонних аукционов;
- участие производится только при наличии статуса «участник аукциона», а компаний – в статусе «заказчик аукциона»;
- выставление заявок участниками;
- по результатам аукциона с победителем заключается договор купли-продажи;

- выполнение обязательств по договору в двустороннем порядке [14].

Следует указать на тот факт, что АО «Национальная товарная биржа» использует двухуровневую систему допуска:

- во-первых, сама биржа устанавливает набор определенных требований, выполнение которых дает право допуска лиц к аукциону;

- во-вторых, сам заказчик ставит в известность биржу о допуске участника к аукциону, после исполнения всех требований биржи.

Следует также акцентировать внимание на Постановлении Правительства РФ от 05.10.2016 №1003, которое формирует порядок приобретения сельскохозяйственной продукции у сельхозтоваропроизводителей [11]. Прежде всего данный документ регулирует объемы и ценовые параметры приобретения сельскохозяйственной продукции у сельхозтоваропроизводителей и перерабатывающих организаций в процессе проведения государственных закупочных интервенций.

Необходимо отметить, что в РФ начиная с 2001 года функционирует механизм закупочных интервенций зерна, а с 2022 года данный формат распространился на закупку сахара. По состоянию на август 2022 года закупочные интервенции предполагается проводить в отношении зерна урожая 2021-2022 годов и сахара производства 2021-2023 годов. Аукционы в текущий период времени в рамках закупок зерна в государственный интервенционный фонд стартовали первого августа на Национальной товарной бирже. Закупочные интервенции по сахару еще не проводились.

По состоянию на седьмое августа 2022 года государственные закупки у сельскохозяйственных товаропроизводителей закупки зерна составили 6,75 тыс. тонн на сумму 103,7 млн. руб. Всего в интервенционный фонд РФ за период с первого августа (даты начала торгов) по седьмое сентября 2022 года было закуплено 63,72 тыс. тонн зерна на общую сумму 798,325 млн. руб. [14].

При этом ведомственный контроль в сфере закупок сельхозтоваропроизводителями возложен на Министерство сельского хозяйства РФ.

Учитывая статистические данные успешного заключения контрактов, варьирующиеся в рамках пяти-шести контрактов за год, можно смело делать вывод об успешности проведения государственных закупок в наши дни, так как общий объем государственных закупок в рамках поддержки малого и среднего бизнеса составляет 30 млн. руб. на одно предприятие в год.

### **Обсуждение**

Выполненное исследование показывает острую необходимость вовлечения в процесс государственных и муниципальных закупок субъектов малого предпринимательства-сельхозтоваропроизводителей с точки зре-

ния соблюдения подходов к продовольственной безопасности страны и реализации своей продукции СМП [15].

Рассматривая сущность закупочного процесса, был затронут вопрос оценки законодательной, нормативной базы в отношении государственных и муниципальных заказов, при этом было установлено, что данные документы имеют тенденцию к постоянным изменениям в контексте складывающейся внешней экономической ситуации в России.

Отметим, что описанный в исследовании алгоритм позволит СМП-товаропроизводителям понимать принцип участия в закупочных процессах государственного и муниципального уровней, и привлечь к процессам закупки новые СМП. При этом государству следует создать определенные стимулы, в рамках административных механизмов для расширения возможностей участия СМП-сельхозтоваропроизводителей закупочных процессах на разных уровнях регулирования и обеспечить систему продовольственной безопасности, путем внедрения в том числе национального режима в отношении сельскохозяйственной продукции и продовольствия.

### **Заключение**

В целях соблюдения основных положений действующего законодательства о закупках, расширения доступа к участию в закупках СМП-сельхозтоваропроизводителям следует:

- осуществлять закупки конкурентными способами, руководствуясь принципом открытости и прозрачности закупок, но при этом формировать определенные льготы и преференции СМП-сельхозтоваропроизводителям;
- соблюдать определенные ограничительные меры, а также условия допуска, предусмотренные законодательством о контрактной системе, по отношению к участникам закупок;
- при формировании основных положений контракта устанавливать наиболее приемлемые сроки исполнения обязательств и условия поставки сельскохозяйственной продукции и продовольствия;
- осуществлять взаимодействие с отечественными производителями товаров с целью включения такими производителями своей продукции в реестры, ведение которых осуществляет профильное Министерство России, что будет способствовать выполнению заказчиками обязательной доли закупок товаров российского происхождения.

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

**Информация о спонсорстве.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

### *Список литературы*

1. Аганбегян А. Г. Как госбюджет может стать локомотивом социально-экономического развития страны // Вопросы экономики. 2015. № 7. С. 142-15.
2. Аналитический отчет по результатам осуществления мониторинга закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд // Минфин. Москва. [https://minfin.gov.ru/common/upload/library/2021/05/main/ANALITICHESKIY\\_OTCHET.pdf](https://minfin.gov.ru/common/upload/library/2021/05/main/ANALITICHESKIY_OTCHET.pdf)
3. Анчишкина О. Контрактные институты в российской экономике: сфера государственных, муниципальных и регулируемых закупок // Вопросы экономики / Академия наук СССР, Институт экономики. 2017. С. 93-110. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2017-11-93-110>
4. Быковская Ю.В., Иванова Л.Н., Сафохина Е.А. Малое и среднее предпринимательство в современной России: состояние, проблемы и направления развития / Ю.В. Быковская, Л.Н. Иванова, Е.А. Сафохина // Вестник Евразийской науки. 2018. том 10. № 5. С. 6.
5. Киселев А.П. Система государственных закупок как инструмент финансирования предприятий текстильной промышленности / А. П. Киселев, А. В. Силаков // Экономика отраслевых рынков: формирование, практика и развитие : Сборник материалов IV Всероссийской научной конференции, Москва, УОК «Лесное озеро», 25 января 2020 года. Москва, УОК «Лесное озеро»: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2020. С. 101-105.
6. 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>
7. О документе в составе заявки, подтверждающем принадлежность к субъектам малого предпринимательства : письмо Минэкономразвития Российской Федерации № 7158-ЕЕ/Д28и и Федеральной антимонопольной службой АЦ/13590/14 от 04.04.2014 // Навигатор контрактной системы. <http://zakupki-inform.ru/44-fz/pisma-i-raz-yasneniya-po-44-fz/pismo-mer-rf-7158-ee-d28i-i-fas-rf-ats-13590-14-ot-04-04-2014.html>
8. О разъяснении положений Федерального закона от 5 апреля 2013 г. N 44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд»: письмо Минэко-

- номразвития РФ от 20 марта 2017 №Д28и-1352 // СПС Гарант. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71552666/>
9. О контроле в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд : письмо Минэкономразвития РФ от 17 марта 2015 г. №Д28и-747 // Навигатор контрактной системы. <http://zakupki-inform.ru/44-fz/pisma-i-raz-yasneniya-po-44-fz/pismo-minekonomrazvitiya-ot-17-03-2015-d28i-747.html>
  10. Об особенностях участия субъектов малого и среднего предпринимательства в закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц : утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 11.12.2014 № 1352 // СПС Гарант. <https://base.garant.ru/70819336/>
  11. Об утверждении Правил приобретения сельскохозяйственной продукции у сельскохозяйственных товаропроизводителей и (или) организаций и индивидуальных предпринимателей, осуществляющих первичную и (или) последующую (промышленную) переработку сельскохозяйственной продукции, произведенной сельскохозяйственными товаропроизводителями на территории Российской Федерации, в процессе проведения государственных закупочных интервенций и ее реализации : утв. Постановление Правительства РФ от 05.10.2016 № 1003 (ред. от 26.02.2022). [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_205608/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_205608/)
  12. Об утверждении перечней операторов электронных площадок и специализированных электронных площадок, предусмотренных Федеральными законами от 05.04.2013 № 44-ФЗ, от 18.07.2011 № 223-ФЗ : утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 12 июля 2018 года № 1447-р. [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_302473/3a4088b4429ca53189a0b3b932e98e10935cf57e/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_302473/3a4088b4429ca53189a0b3b932e98e10935cf57e/)
  13. Об утверждении дополнительных требований к функционированию электронной площадки для целей осуществления конкурентной закупки с участием субъектов малого и среднего предпринимательства : утв. Постановление Правительства РФ от 08.06.2018 № 657 (ред. от 13.02.2019). <http://static.government.ru/media/files/v4dwJFn10xc9vS4kCBWrnKPZn7pQ1vom.pdf>
  14. Официальный сайт АО «Национальная товарная биржа». <https://www.namex.org/ru/investment/ZI2022>
  15. Плотников В.А. Перспективы развития системы государственных закупок и государственного оборонного заказа / В. А. Плотников, С. И. Рогатин // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2022. № 4(136). С. 61-68.

16. Российская Федерация. Законы. О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд : Федеральный закон : [принят Государственной думой 22 марта 2013 г. : одобрен Советом Федерации 27 марта 2013 г. : в редакции от 14 июля 2022 г.]. [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_144624/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_144624/)
17. Российская Федерация. Законы. О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц : Федеральный закон : [принят Государственной думой 8 июля 2011 г. : одобрен Советом Федерации 13 июля 2011 г. : в редакции от 14 июля 2022 г.]. [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_116964/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_116964/)
18. Российская Федерация. Законы. О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации» : Федеральный закон : [принят Государственной думой 6 июля 2007 г. : одобрен Советом Федерации 11 июля 2007 г. : в редакции от 28 июня 2022 г.]. [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_52144/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_52144/)
19. Теоретические и практические аспекты развития предпринимательства в России : монография / под ред. проф. В.А. Умнова. Москва : ИНФРА-М, 2021. 164 с.
20. Терехова С. В., Устинова К. А. Малый и средний бизнес в новых экономических условиях // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2022. № 2. С. 107-123. <https://doi.org/10.37614/2220-802X.2.2022.76.009>
21. Трубилин А.И., Шарипов С.А., Тюпаков К.Э., Михайлов А.Э. Развитие сбытовой инфраструктуры как фактор обеспечения продовольственной безопасности // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. Том 65, № 1 (385). С. 85-89. [https://doi.org/10.55186/25876740\\_2022\\_65\\_1\\_85](https://doi.org/10.55186/25876740_2022_65_1_85)
22. Чигрин А.Д. Малый бизнес и конкурентоспособность России: нетрадиционный взгляд // Журнал Новой экономической ассоциации. 2018. №39(3). С. 110-126. <https://doi.org/10.31737/2221-2264-2018-39-3-5>
23. Янбых Р.Г. Вертикальная координация малого бизнеса в сельском хозяйстве / Р. Г. Янбых, Е. А. Гатаулина // Экономист. 2016. № 8. С. 78-87.
24. Kotliarov I. A Taxonomy of business organizations: transport industry and beyond // Transportation Research Procedia. 2022. Vol. 63. P. 2165-2171. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.243>
25. Plotniko 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. No. 1/2. P. 139-153. <https://doi.org/10.1108/IJSSP-03-2020-0074>
26. Rainer Kattel and Veiko Lember. Public procurement as an industrial policy tool: an option for developing countries? // Journal of public procurement. 2010.

Vol. 10, Issue 3. P. 368-404. [https://lang.hse.ru/data/2011/09/27/1270200154/PUBLIC\\_PROCUREMENT\\_AS\\_AN\\_INDUSTRIAL\\_POLICY\\_TOOL.pdf](https://lang.hse.ru/data/2011/09/27/1270200154/PUBLIC_PROCUREMENT_AS_AN_INDUSTRIAL_POLICY_TOOL.pdf)

### References

1. Aganbegyan A. G. *Voprosy ekonomiki*, 2015, no. 7, pp. 142-15.
2. Analytical report on the results of monitoring the procurement of goods, works, services to meet state and municipal needs / Ministry of Finance. Moscow. [https://minfin.gov.ru/common/upload/library/2021/05/main/ANALITICHESKIY\\_OTCHET.pdf](https://minfin.gov.ru/common/upload/library/2021/05/main/ANALITICHESKIY_OTCHET.pdf)
3. Anchishkina O. *Voprosy ekonomiki*, 2017, pp. 93-110. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2017-11-93-110>
4. Bykovskaya Yu.V., Ivanova L.N., Safokhina E.A. *Vestnik Evraziyskoy nauki*, 2018, vol. 10, no. 5, p. 6.
5. Kiselev A.P., Silakov A.V. *Ekonomika otraslevykh rynkov: formirovanie, praktika i razvitie : Sbornik materialov IV Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii, Moskva, UOK "Lesnoe ozero", 25 yanvarya 2020 goda* [economics of industry markets: formation, practice and development : Collection of materials of the IV All-Russian Scientific Conference, Moscow, UOK "Forest Lake", January 25, 2020]. Moscow, Forest Lake: Publishing and Trade Corporation "Dashkov and K", 2020, pp. 101-105.
6. Mityashin G.Yu. *Vestnik NGIEI*, 2022, no. 9(136), pp. 120-135. <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-9-120-135>
7. On the document in the application, confirming belonging to small businesses: letter of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation No. 7158-EE/D28i and the Federal Antimonopoly Service AI/13590/14 dated 04.04.2014 / Navigator of the contract system. <http://zakupki-inform.ru/44-fz/pisma-i-raz-yasneniya-po-44-fz/pismo-mer-rf-7158-ee-d28i-i-fas-rf-ats-13590-14-ot-04-04-2014.html>
8. On clarification of the provisions of the Federal Law of April 5, 2013 N 44-FZ "On the contract system in the field of procurement of goods, works, services to meet state and municipal needs" : letter of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation of March 20, 2017 No. D28i-1352 / SPS Garant. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71552666/>
9. On control in the field of procurement of goods, works, services to meet state and municipal needs: letter of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation dated March 17, 2015 No. D28i-747 / Navigator of the contract system. <http://zakupki-inform.ru/44-fz/pisma-i-raz-yasneniya-po-44-fz/pismo-minekonomrazvitiya-ot-17-03-2015-d28i-747.html>

10. On the peculiarities of the participation of small and medium-sized businesses in the procurement of goods, works, services by certain types of legal entities: approved. Decree of the Government of the Russian Federation of December 11, 2014 No. 1352 / SPS Garant. <https://base.garant.ru/70819336/>
11. On approval of the Rules for the purchase of agricultural products from agricultural producers and (or) organizations and individual entrepreneurs engaged in primary and (or) subsequent (industrial) processing of agricultural products produced by agricultural producers on the territory of the Russian Federation, in the process of conducting state procurement interventions and its implementation: approved. Decree of the Government of the Russian Federation of October 5, 2016 No. 1003 (February 26, 2022). [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_205608/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_205608/)
12. On approval of the lists of operators of electronic platforms and specialized electronic platforms provided for by Federal Laws No. 44-FZ dated April 5, 2013, No. 223-FZ dated July 18, 2011: approved. Order of the Government of the Russian Federation dated July 12, 2018 No. 1447-r. [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_302473/3a4088b4429ca53189a0b3b932e98e10935cf57e/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_302473/3a4088b4429ca53189a0b3b932e98e10935cf57e/)
13. On approval of additional requirements for the functioning of an electronic platform for the purposes of competitive procurement with the participation of small and medium-sized businesses: approved. Decree of the Government of the Russian Federation of June 8, 2018 No. 657 (February 13, 2019). <http://static.government.ru/media/files/v4dwJFn10xc9vS4kCBWrnKPZn7pQ1vom.pdf>
14. Official website of JSC “National Commodity Exchange”. <https://www.namex.org/ru/investment/ZI2022>
15. Plotnikov V.A., Rogatin S.I. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*, 2022, no. 4(136), pp. 61-68.
16. Russian Federation. Laws. On the contract system in the field of procurement of goods, works, services to meet state and municipal needs: Federal Law: [adopted by the State Duma on March 22, 2013: approved by the Federation Council on March 27, 2013: as amended on July 14, 2022]. [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_144624/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_144624/)
17. Russian Federation. Laws. On the procurement of goods, works, services by certain types of legal entities: Federal Law: [adopted by the State Duma on July 8, 2011: approved by the Federation Council on July 13, 2011: as amended on July 14, 2022]. [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_116964/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_116964/)
18. Russian Federation. Laws. On the development of small and medium-sized businesses in the Russian Federation “: Federal Law: [adopted by the State Duma on July 6, 2007: approved by the Federation Council on July 11, 2007: as amended on June 28, 2022]. [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_52144/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_52144/)

19. *Teoreticheskie i prakticheskie aspekty razvitiya predprinimatel'stva v Rossii : monografiya* [Theoretical and practical aspects of the development of entrepreneurship in Russia: monograph] / ed. prof. V.A. Umnov. Moscow: INFRA-M, 2021, 164 p.
20. Terebova S.V., Ustinova K.A. *Sever i rynek: formirovanie ekonomicheskogo poryadka*, 2022, no. 2, pp. 107-123. <https://doi.org/10.37614/2220-802X.2.2022.76.009>
21. Trubilin A.I., Sharipov S.A., Tyupakov K.E., Mikhaylov A.E. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal*, 2022, vol. 65, no. 1 (385), pp. 85-89. [https://doi.org/10.55186/25876740\\_2022\\_65\\_1\\_85](https://doi.org/10.55186/25876740_2022_65_1_85)
22. Chigrin A.D. *Zhurnal Novoy ekonomicheskoy assotsiatsii*, 2018, no. 39(3), pp. 110-126. <https://doi.org/10.31737/2221-2264-2018-39-3-5>
23. Yanbykh R.G., Gataulina E.A. *Ekonomist*, 2016, no. 8, pp. 78-87.
24. 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>
25. Plotniko 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, no. 1/2, pp. 139-153. <https://doi.org/10.1108/IJSSP-03-2020-0074>
26. Rainer Kattel and Veiko Lember. Public procurement as an industrial policy tool: an option for developing countries? *Journal of public procurement*, 2010, vol. 10, issue 3, pp. 368-404. [https://lang.hse.ru/data/2011/09/27/1270200154/PUBLIC\\_PROCUREMENT\\_AS\\_AN\\_INDUSTRIAL\\_POLICY\\_TOOL.pdf](https://lang.hse.ru/data/2011/09/27/1270200154/PUBLIC_PROCUREMENT_AS_AN_INDUSTRIAL_POLICY_TOOL.pdf)

### **ВКЛАД АВТОРОВ**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

### **AUTHOR CONTRIBUTIONS**

The authors contributed equally to this article.

### **ДАнные ОБ АВТОРАХ**

**Коваленко Светлана Николаевна**, канд. экон. наук, доцент, доцент 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  
SwKow@yandex.ru*

**Проданова Наталья Алексеевна**, д-р эк. наук, 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-00@mail.ru*

**Георгадзе Нана Давидовна**, старший специалист отдела аудита

*АО «Кэпт»*

*проспект Олимпийский, 16 стр. 5, г. Москва, 129110, Российская Федерация*

*nanageo1010@gmail.com*

**Сергеенков Антон Алексеевич**, консультант Управления контроля объектов городского хозяйства

*Главное контрольное управление города Москвы*

*ул. Новый Арбат, 36, г. Москва, 121099, Российская Федерация*

*antonser1020@gmail.com*

#### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Svetlana N. Kovalenko**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate 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  
SwKow@yandex.ru*

*SPIN-code: 5873-2148*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3439-475X>*

*ResearcherID: ABA-3712-2021*

*Scopus Author ID: 56584712400*

**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*

**Nana D. Georgadze**, Senior Specialist of the Audit Department

*JSC “Kept”*  
*16, Olimpiysky prospect, 16, Moscow, 129110, Russian Federation*  
*nanageo1010@gmail.com*  
*SPIN-code: 2085-6329*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7758-5682>*

**Anton A. Sergeenkov**, Consultant of the Department of Urban Facilities Control

*Main Control Department of Moscow*  
*36, Novy Arbat Str., Moscow, 121099, Russian Federation*  
*antonser1020@gmail.com*  
*SPIN-code: 7002-1123*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9236-4255>*

Поступила 31.10.2022

Received 31.10.2022

После рецензирования 09.11.2022, 06.12.2022

Revised 09.11.2022, 06.12.2022

Принята 10.12.2022

Accepted 10.12.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-458-474

UDC 339



Original article | World Economy

## MODEL OF DIGITAL TRANSFORMATION OF CUSTOMS SERVICES AIMED AT MAKING CUSTOMS CONTROL OF GOODS SENT BY INTERNATIONAL MAIL MORE EFFECTIVE (WITH REFERENCE TO MEDICAL DRUGS)

*I.V. Grekov, I.A. Aksenov, P.N. Afonin, D.V. Gorshkov*

**Background.** Information technologies of the Russian Federation Customs Authorities have been made part of the state digital economy, providing interaction between foreign trade participants and the services provided by the Customs Authorities officers.

**Purpose.** Detection innovations of customs services and customs control of goods sent by international mail (on the example of medical preparations)

**Materials and methods.** In the study, the authors used materials of special customs statistics reflected on the website of the Federal Customs Service of Russia, statistics of foreign economic activity reflected on the website of Rosstat, data reflected on the Federal State Unitary Enterprise Russian Post.

In this work, dialectical, systemic, historical, logical, formal-legal, comparative research methods were used.

**Results.** Processing the flow of information and revealing potential threats while moving IMPI (including medications) shall become completely automated with the help of a monitoring system, applying the machine learning technology.

**Conclusion.** The scope of customs control exercised over the goods forwarded in IMPI shall be, on the one hand, extensive, and on the other -efficient, without placing excessive burden in the form of money and time costs on the persons involved in forwarding IMPI

**Keywords:** innovations, customs control, customs services, electronic commerce, postal items, artificial intelligence, risk, monitoring, automatic differentiation system, analysis of X-ray images, medicines, narcotic drugs, prohibited goods.

**For citation.** Grekov I.V., Aksenov I.A., Afonin P.N., Gorshkov D.V. Model of Digital Transformation of Customs Services Aimed at Making Customs Control of Goods Sent by International Mail more Effective (With Reference To Medical

*Drugs). Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 458-474. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-458-474*

Научная статья | Мировое хозяйство

## **МОДЕЛЬ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ТАМОЖЕННЫХ УСЛУГ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТАМОЖЕННОГО КОНТРОЛЯ ТОВАРОВ, ПЕРЕСЫЛАЕМЫХ В МЕЖДУНАРОДНЫХ ПОЧТОВЫХ ОТПРАВЛЕНИЯХ (НА ПРИМЕРЕ МЕДИЦИНСКИХ ПРЕПАРАТОВ)**

*И.В. Греков, И.А. Аксенов, П.Н. Афонин, Д.В. Горшков*

**Обоснование.** Информационные таможенные технологии таможенных органов Российской Федерации входят в систему цифровой экономики государства, обеспечивая взаимодействие участников внешнеэкономической деятельности с услугами, которые оказывают должностные лица таможенных органов.

**Цель.** Выявление инноваций таможенных органов при организации таможенного контроля товаров, пересылаемых международными почтовыми отправлениями (на примере медицинских препаратов)

**Материалы и методы.** В исследовании использованы материалы специальной таможенной статистики, отраженные на сайте Федеральной таможенной службы России, статистики внешнеэкономической деятельности, отраженные на сайте Росстата, данные, отраженные на ресурсах ФГУП «Почта России».

В работе использовались диалектический, системный, исторический, логический, формально-правовой, сравнительный методы исследования.

**Результаты.** Обоснование внедрения системы мониторинга, основанного на технологии машинного обучения в процесс обработки потока информации и выявление потенциальных угроз при перемещении международных почтовых отправлений (в том числе медицинских препаратов).

**Заключение.** Объем таможенного контроля, осуществляемого в отношении товаров, пересылаемых в международных почтовых отправлениях, должен быть, с одной стороны, обширным, а с другой – оперативным, который не должен формировать чрезмерного бремени в виде финансовых и

*временных затрат на лиц, участвующих в экспедировании международных почтовых отправок.*

**Ключевые слова:** инновации; таможенный контроль; таможенные услуги; электронная коммерция; почтовые отправления; искусственный интеллект; риск; мониторинг; автоматическая система дифференциации; анализ рентгеновских снимков; лекарственные средства; наркотические средства; запрещенные товары

**Для цитирования.** Греков И.В., Аксенов И.А., Афонин П.Н., Горшков Д.В. Модель цифровой трансформации таможенных услуг в целях повышения эффективности таможенного контроля товаров, пересылаемых в международных почтовых отправлениях (на примере медицинских препаратов) // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №3. С. 458-474. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-458-474

## **Introduction**

Digital transformation of the economy and technological development of any country are the fundamental elements of building up the country's economic growth at the International level.

Unlike regular automation, digital transformation consists in radical enhancing of the process efficiency which results in the creation of novel and perfect business-models due to its successful implementing in the ordinary course of business. Thus, it is not every project on implementing or upgrading business information systems that is worth being called digital transformation [10, 18, 25].

Digitalising a state economy is a synergy of the digital technologies, which employ automatic algorithms for analysing big structured data, and the elements of economic performance which include service sector, customs inter alia [12, 19, 23, 26].

Digital transformation in the government management must lead to a cardinal change of approaches in organizing the work of authorities using technologies and algorithms. It is in a way the process of adaptation to new conditions of activity considering the needs of the market and customers' expectations of services. Without systematic transformation of the managerial processes and cardinal reconstruction of the work of the whole state apparatus there can't be large-scale feedback of the digitalising provided.

It is worth noting, that quality and logistical and information (software) support for customs authorities and customs services providers play an important role in digitalising the economy.

Relevance of this work is the necessity of elaborating the effective tooling of digital transformation which may be used in the customs authorities, which hasn't been formed to this day. The work is devoted to implementing the monitoring system based on the machine learning technology into processing the flow of information and revealing the potential threats while moving IMPI.

Relevance of the issue tackled upon in this article is primarily due to the fact that customs information technologies of the Russian Federation Customs Authorities have been made part of the state digital economy, providing interaction between foreign trade participants and the services provided by the Customs Authorities officers. The concept of «digital economy» has been expressed in the programme «Digital Economy of the Russian Federation», expanding the principal provisions of Information Society Development Strategy in the Russian Federation for 2017-2030.

### **Materials and methods**

Examining the aspects of digitalising customs service in the Russian Federation one can not fail to focus on vigorous scientific interest in exploring this area. Both national and foreign researchers are studying the peculiarity of digital transformation.

I.A. Gokinaeva, A.V. Agapova, I.N. Popova, T.G. Maximova, G. Fedotova, V.B. Mantusov, V.G. Makarenko, X. Huang, Y. Wang, Z. Zhu, X. Song, M.J. Ahn, Y.-C. Chen researched in their work the digitalising of rendering customs services and assessed the results in the area [1, 4, 9, 19, 17, 15]. The authors' materials provide an exhaustive classification of digital technologies used in customs and customs-related activities, specifically: artificial intelligence, big data, robotics, high-speed Internet, blockchain technology, etc. In our article, we used this classification of digital technologies and adapted them to the specifics of the implementation of customs control of goods moving IMPI (on the example of medical preparations).

A group of authors from S-Petersburg does the active research of digital transformation of the activity of customs service [1]. A special focus is made on automating some functional customs part, particularly on the development of electronic customs unit.

Another group of authors that is Maksimova T and Popova I pay attention to the statistic evaluation of digital transformation in their works. In our view the given approach is rather effort-consuming, yet not resulting enough due to a low level of the used statistics credibility.

The article by V.B. Mantusov is an extensive research on analysing and evaluating the outcome and prospects of digitalising currency control function

of the customs service [6]. The article builds an algorithm for interdepartmental information interaction between the customs service, tax authorities and the banking system under customs control. It reflects how the elements of artificial intelligence can be applied when accepting currency control of the customs service on the basis of interdepartmental information interaction.

The work of V.G. Makarenko, having a narrower scope but being significant in the above mentioned area nevertheless, is devoted to digitalising the process of customs fees collection [23]. The author in his article adapts 2 types of digital technologies (specifically, artificial intelligence technology and big data technology) to the process of collecting customs payments. The author of the article reflects that with the use of these technologies, the process of collecting customs payments will be more transparent both for foreign trade participants and for customs authorities. Also, the use of these technologies will simplify this process as much as possible.

The work of A.V. Egorova quite accurately reflects the specifics of the movement of medicinal preparations in international postal items [7]. The article reflects that the process of moving drugs in IMPI is prohibited. It turns out that there are no such offenses in the statistics of customs activities, although there are precedents for the movement of medicines in IMPI.

A work published in the Journal of business researches in which the authors conduct systematizing of modern interdisciplinary knowledge about digitalizing and digital transformation [21]. The article reflects that the business processes of any organization and any departments, including “non-information”, require the “embedding” of employees with developed digital competence.

### **Results of the research**

That exerting customs control and rendering services by the customs authorities officers must not impose the burden of excessive time and money consuming acts on the persons involved in forwarding postal items (IMPI) via international mail.

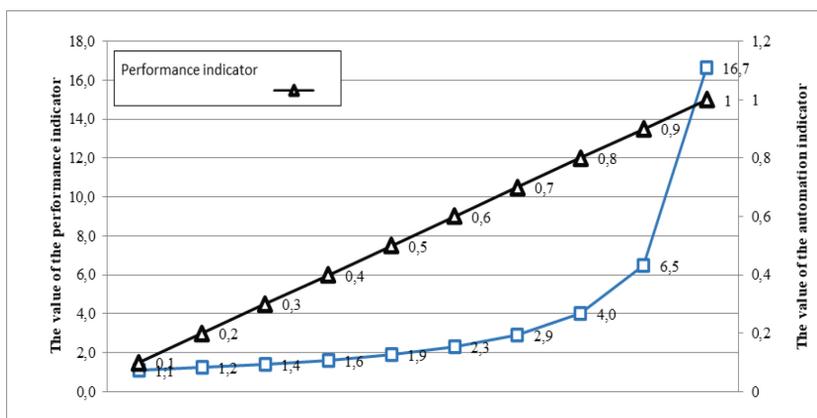
Time and money costs incurred by the ultimate recipient of the goods in the form of customs control and proper procedures as well as requesting additional information, when providing customs services, must comply with the principle of selective customs control, set forth in the international law, and control procedures by customs authorities under national law being necessary.

Customs services in the IMPI area are the acts, performed by the customs authorities with the goods forwarded via IMPI, to perform public functions and to satisfy the needs of individuals and entities (the recipients of customs services in IMPI). [3]

One of the methods for improving customs services is automation and digitalising the procedure of customs control of IMPI by implementing the Model of digitalising customs services and customs control of international postal items (hereinafter Model) [2]. Due to the fact that the scope of IMPI is constantly increasing, the models that are using at the moment are becoming ineffective. In the research, we are considering a new model for the implementation of customs control IMPI based on 2 digital technologies: artificial intelligence and big data control.

The Model consists of three functional blocks (national system of data management, the block of developing customs services and the block of developing customs control).

Taking the opportunity to automate processing the information about the persons involved in forwarding IMPI, as well as the goods, will enable customs authorities to enhance efficiency, namely to provide customs services and provide customs control within significantly shorter time, and the efficiency being preserved. Picture 1 shows the correlation between the Model's efficiency indicator and various values of automation indicator. The effectiveness of customs control evaluated by 2 signs: the speed of the provision of customs services and the number of identified violations of foreign trade participants



**Picture 1.** Dynamics of the efficiency indicator subject to various values of automation indicator [Compiled by the authors]

Customs control of international postal items depends on both the method of IMPI movement (import, export, transit) and on the format of filing information with the customs authority (e-format or paper format).

In case a customs declaration in a paper format is filed with the customs authority («CN 22» or «CN 23»), customs officers shall verify the consignment based on their experience as well on the information contained in the customs declaration (without an opportunity to have data processing automated) comparing it with the results of inspecting IMPI (or customs inspection with the help of an X-ray).

In case a customs declaration in a digital format is filed with the customs authority on-line in the form of the organized data on IMPI [16], customs control is automated to spot the violation of EAEU rules and Customs Regulation Law of the Russian Federation.

IMPI data received from the authorised postal service provider in the e-format and used by the customs authorities predetermines the increase in data flow which should be processed by the information system used by customs authorities, hence optimisation, speed enhancing and implementing novel automated methods of processing IMPI data is necessary.

Analysis of the volume of goods forwarded in IMPI across the border of the Russian Federation within 2005 -2020 shows a growing trend (an average growth rate was 22%) , which is a precursor of a workload imposed on both the postal service providers and customs authorities officers. Based on the value forecast by 2025 the amount of imported (exported) IMPI must reach the value of 1,4 billion articles [20].

However, the facts of consolidation of small shipments into one IMPI, the value norms increase of importing goods, geopolitical situation in 2022 state the fact of forecast decrease in the volume of goods forwarded in IMPI.

However, this situation is levelled by the increase in the limits of duty-free import of goods in IMPI for personal use, which were imposed under the Resolution of EEC Council for the period of April, 1 , 2022 till October 1, 2022 [14].

Despite the fact that the volume of IMPI might decline , the trend of importing prohibited or restricted to import goods into Russian Federation continues, as well as providing false information by the persons involved in IMPI in order to cut cost implications which cause offences and crimes.[13].

It should be emphasized that the shipment of narcotic drugs (psychotropic substances) in international mail is prohibited in accordance with paragraph 2 of article 19 of the Universal Postal Convention.

When moving prohibited goods (narcotic drugs) in international mail, cover goods (for example, medicines) can be used.

In order to classify the medical preparations found in international mail as narcotic drugs, the customs authorities of the Russian Federation use an examination that identifies the composition of the goods [8].

It should be noted that there is no statistical information on the identified facts of the shipment of narcotic drugs in international mail under the guise of medicines in open sources, however, there is spot information on the detection of these facts on some official websites of customs authorities [28].

Based on the results of the analysis of information on the official websites of customs authorities on the spot facts of the detection of narcotic drugs in international mail, it can be concluded that cases of their detection are quite frequent, as well as attackers hide these prohibited goods in separate objects (phones, alarm clocks, packages and medicines).

In order to prevent the cases of forwarding prohibited or restricted to import (export) goods via IMPI, customs authorities in Russian Federation study the issue of implementing innovative approaches into current algorithms of customs control [25].

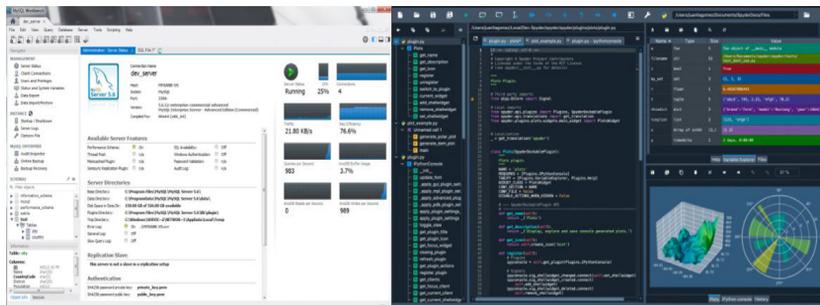
Using an automated system of differentiating IMPI, which implies using the information about the whole supply chain of a shipment (shipper, recipient, goods) to be classified subject to 5 risk level groups, is the principal innovation in IMPI customs control [11].

Subject to the practical implementation of the Model, an option for installing a monitoring system (digital twin of the procedure) is created, which is a completely automated process of controlling a shipment with regard to the risk level group.

At the same time, an additional innovation in IMPI customs control is an automated analysis of X-ray shots of IMPI in which artificial intelligence is applied. At present, implementation of the artificial intelligence in the procedures of customs authorities of the Russian Federation has been provided by the Strategy for developing Customs Service 2030 as the first target landmark aimed at digital transformation of customs processing and control technologies.

Thus, processing the flow of information and revealing potential threats while moving IMPI shall become completely automated with the help of a monitoring system, applying the machine learning technology [5].

When applying the machine learning technology the principal method of automated monitoring and analysis of an IMPI shipment is interaction between two software programmes «Puthon» and «MySQL Workbench» (Picture 2). The software programme «Puthon» enables to launch automated algorithms of data analysis by means of the express SQL inquiries. It should be noted, that this system shall take into account all necessary cybersecurity protocols excluding unauthorised access of third parties.



**Picture 2.** Programme interface Puthon (Spyder, left) and SQL (MySQL Workbench, right) [Compiled by the authors]

## Discussion

On the whole, the advantages and disadvantages of the model recommended by the authors may be displayed in the form of the table.

Advantages	Disadvantages
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Automatized analysis about the persons moving the IMPI</li> <li>2. The “subjectivity” of the official person while carrying the customs control is reduced</li> <li>3. The opportunity of automatized customs control of IMPI</li> <li>4. Automatized analysis of photos of IMPI</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. The dependency of the indicator of the effective customs control of IMPI from the form of customs declaration provided</li> <li>2. Enhancing of the postal and customs IT infrastructure is required</li> </ol>

Automated algorithms, which have been generated, will take into account all specific features required from the dataset declared, methods of moving goods, the workload of customs authorities etc. Having made the analysis with the help of the those algorithms, customs officers will identify specific risk areas to be focused on ( excessive workload on the customs authority, violations within a specific class of goods, an error made by a monitoring system etc).

With regard to implementing all the above-mentioned innovations, the scope of customs control exercised over the goods forwarded in IMPI shall be, on the one hand, extensive, and on the other -efficient, without placing excessive burden in the form of money and time costs on the persons involved in forwarding IMPI.

The analysis made by a monitoring system of all the decisions taken on a specific IMPI shipment being forwarded (including the results of customs control) shall exclude the fact of excessive inspection by the customs authority, and it reducing the time allocated for rendering a customs service.

## Conclusion

This research reflects the necessity of elaborating the effective tooling of digital transformation in the area of customs control, which hasn't been formed yet to this day. The work develops the mechanism of processing the flow of information while moving IMPI.

Improving the quality of the customs services subject to customs control of IMPI shall encourage, inter alia, the increase in the share of goods exported via IMPI, which will affect Russian economy due to the fact that mostly high-tech goods are exported in IMPI which require specific manufacturing and technological treatment.

Within the prospective research framework it is necessary to affect the issues of information safety and the peculiarity of the interaction of the digital systems of the customs authorities and FSUE "Post of Russia" more closely.

**Conflict of interest information.** There is no conflict of interest.

**Sponsorship information.** The study was not sponsored.

## References

1. Agapova A.V., Gokinaeva I.A., Meleshkina A.A. *Nauchno-issledovatel'skiy finansovyy institut. Finansovyy zhurnal*, 2019, no. 3(49), pp. 106-116.
2. Aksenov I.A. *Tamozhennoe delo*, 2022, no. 1, pp. 3-6.
3. Aksenov I.A. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 5, pp. 146-166. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-5-146-166>
4. Gokinaeva I.A. *Zhurnal pravovykh i ekonomicheskikh issledovaniy*, 2020, no. 2, pp. 106-109.
5. Grekov I.V., Afonin P.N. *Ekonomika i predprinimatel'stvo*, 2020, no. 6(119), pp. 1293-1296
6. Grekov I.V., Mantusov V.B., Afonin P.N. *Izvestiya SPbGETU LETI*, 2021, no. 10, pp. 86-94.
7. Egorova A.V. *Sovremennaya organizatsiya lekarstvennogo obespecheniya*, 2021, vol. 8, no. 1, pp. 46-49.
8. Zhaborovskiy A.S. *Akademicheskij vestnik Rostovskogo filiala Rossiyskoy tamozhennoy akademii*, 2019, no. 2(35), pp. 89-96.
9. Maksimova T.G., Popova I.N. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya: Ekonomika i ekologicheskij menedzhment*, 2019, no. 1, pp. 52-60.
10. Stel'mashonok E.V., Stel'mashonok V.L. *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>
11. Chaadaev Ya.A. *NovaUm.Ru*, 2020, no. 28, pp. 29-32.

12. Ahn M.J., Chen Y.-C. Digital transformation toward AI-augmented public administration: The perception of government employees and the willingness to use AI in government. *Government Information Quarterly*, 2022, vol. 39 (2), article № 101664. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2021.101664>
13. Carlan V., Sys C., Vanelslander T. Cost-effectiveness and gain-sharing scenarios for purchasing a blockchain-based application in the maritime supply chain. *European Transport Research Review*, 2022, vol. 14 (1), article № 21. <https://doi.org/10.1186/s12544-022-00545-2>
14. Coltey E., Alonso D., Vassigh S., Chen S.-C. Towards an AI-Driven Marketplace for Small Businesses During COVID-19. *SN Computer Science*, 2022, vol. 3 (6), article № 441. <https://doi.org/10.1007/s42979-022-01349-w>
15. Fedotova G. Problems of digital transformation of customs services on classification of goods. *ACM International Conference Proceeding Series*, 2020. <https://doi.org/10.1145/3444465.3444503>
16. Gokinaeva I.A., Agapova A.V., Nikolaev A.S., Popova I.N., Murashova S.V. Problems of the development of innovation customs technologies in the formation of the digital economy. *Proceedings of the 32nd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2018 - Vision 2020: Sustainable Economic Development and Application of Innovation Management from Regional expansion to Global Growth*, 2018, pp. 4487-4493.
17. Huang X., Wang Y., Zhu Z., Song X. Quality of imported intermediates, innovation behaviour and markups: Firm-level evidence from China. *World Economy*, 2022, vol. 45 (9), pp. 2796-2819. <https://doi.org/10.1111/twec.13270>
18. Kraus S., Durst S., Ferreira J.J., Veiga P., Kailer N., Weinmann A. Digital transformation in business and management research: An overview of the current status quo. *International Journal of Information Management*, 2022, vol. 63, article № 102466. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102466>
19. Makarenko V.G. Customs criminalistics (forensic science): A new concept for customs control. *World Customs Journal*, 2017, vol. 11 (1), pp. 73-82. <https://worldcustomsjournal.org/archive/volume-11-number-1-march-2017/>
20. Mergel I., Edelmann N., Haug N. Defining digital transformation: Results from expert interviews. *Government Information Quarterly*, 2019, vol. 36 (4), article № 101385. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2019.06.002>
21. Peter C. Verhoef, Thijs Broekhuizen, Yakov Bart, Abhi Bhattacharya, John Qi Dong, Nicolai Fabian, Michael Haenlein, Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research*, 2021, vol. 122, pp. 889-901. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022>
22. Sakulyeva T., Zalikhina K. The single window mechanism in the field of external sector of the economy. *International Journal of Civil Engineering and*

- Technology*, 2019, vol. 10 (2), pp. 2205-2212. [https://iaeme.com/MasterAdmin/Journal\\_uploads/IJCIET/VOLUME\\_10\\_ISSUE\\_2/IJCIET\\_10\\_02\\_219.pdf](https://iaeme.com/MasterAdmin/Journal_uploads/IJCIET/VOLUME_10_ISSUE_2/IJCIET_10_02_219.pdf)
23. Suglobov A.E., Gupanova Y.E., Nemirova G.I. The analysis of customs services practice in the conditions of the eurasian economic union: Problems and directions of improvement. *Journal of Advanced Research in Law and Economics*, 2019, vol. 9 (4), pp. 1259-1266. [https://doi.org/10.14505//jarle.v9.4\(34\).11](https://doi.org/10.14505//jarle.v9.4(34).11)
  24. Scupola A., Mergel I. Co-production in digital transformation of public administration and public value creation. *The case of Denmark Government Information Quarterly*, 2022, vol. 39 (1), article № 101650. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2021.101650>
  25. Suglobov A.E., Karpovich O.G., Rudakova T.I., Pimenov D.M., Koryagina I.A. The role of international organizations in managing the modern economic systems' innovative development. *The Economic and Legal Foundations of Managing Innovative Development in Modern Economic Systems*, edited by Elena G. Popkova, Aleksei V. Bogoviz and Artem Krivtsov, Berlin, Boston: De Gruyter Oldenbourg, 2020, pp. 89-96. <https://doi.org/10.1515/9783110643701-010>
  26. Verhoef P.C., Broekhuizen T., Bart Y., Bhattacharya A., Qi Dong J., Fabian N., Haenlein M. Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research*, 2021, vol. 122, pp. 889-901. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022>
  27. Wilson C., Mergel I. Overcoming barriers to digital government: mapping the strategies of digital champions. *Government Information Quarterly*, 2022, vol. 39 (2), article № 101681. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2022.101681>
  28. Zasko V., Sidorova E., Komarova V., Boboshko D., Dontsova O. Digitization of the customs revenue administration as a factor of the enhancement of the budget efficiency of the Russian Federation. *Sustainability (Switzerland)*, 2021, vol. 13 (19), article № 10757. <https://doi.org/10.3390/su131910757>

### **Список литературы**

1. Агапова А.В. Направление «таможенный аудит»: внедрение в целях развития электронной таможи / А. В. Агапова, И. А. Гокинаева, А. А. Мелешкина // Научно-исследовательский финансовый институт. Финансовый журнал. 2019. № 3(49). С. 106-116.
2. Аксенов И.А. Использование цифровых технологий при оказании государственных таможенных услуг // Таможенное дело. 2022. № 1. С. 3-6.
3. Аксенов И.А. Проблемы организации внешнеторгового оборота лекарственных средств в Российской Федерации // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13. № 5. С. 146-166. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-5-146-166>

4. Гокинаева И.А. Проблемы проведения таможенного контроля в отношении товаров, пересылаемых в международных почтовых отправлениях // Журнал правовых и экономических исследований. 2020. № 2. С. 106-109.
5. Греков И.В. Использование ключевых показателей «КРП» для оценки экономической эффективности таможенных услуг при таможенном контроле международных почтовых отправлений / И. В. Греков, П. Н. Афонин // Экономика и предпринимательство. 2020. № 6(119). С. 1293-1296
6. Греков И.В. Совершенствование процесса цифровизации таможенных услуг при «интеллектуальном» таможенном контроле международных почтовых отправлений в таможенных органах Российской Федерации / И. В. Греков, В. Б. Мантусов, П. Н. Афонин // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. 2021. № 10. С. 86-94
7. Егорова А.В. Актуальные аспекты законодательства в отношении дистанционной продажи лекарственных препаратов на территории РФ // Современная организация лекарственного обеспечения. 2021. Т. 8. № 1. С. 46-49.
8. Жаборовский А.С. О некоторых вопросах правового регулирования перемещения товаров для личного пользования физических лиц в международных почтовых отправлениях // Академический вестник Ростовского филиала Российской таможенной академии. 2019. № 2(35). С. 89-96.
9. Максимова Т. Г. Статистическое оценивание цифровой трансформации экономики Российских регионов / Т. Г. Максимова, И. Н. Попова // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2019. № 1. С. 52-60.
10. Стельмашонок Е.В. Цифровая трансформация агропромышленного комплекса: анализ перспектив / Е. В. Стельмашонок, В. Л. Стельмашонок // 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>
11. Чаадаев Я.А. Проведение таможенного контроля в отношении международных почтовых отправлений // NovaUm.Ru. 2020. № 28. С. 29-32.
12. Ahn M.J., Chen Y.-C. Digital transformation toward AI-augmented public administration: The perception of government employees and the willingness to use AI in government // Government Information Quarterly. 2022. Vol. 39 (2). Article № 101664. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2021.101664>
13. Carlan V., Sys C., Vanelslander T. Cost-effectiveness and gain-sharing scenarios for purchasing a blockchain-based application in the maritime supply chain // European Transport Research Review. 2022. Vol. 14 (1). Article № 21. <https://doi.org/10.1186/s12544-022-00545-2>
14. Coltey E., Alonso D., Vassigh S., Chen S.-C. Towards an AI-Driven Marketplace for Small Businesses During COVID-19 // SN Computer Science. 2022. Vol. 3 (6). Article № 441. <https://doi.org/10.1007/s42979-022-01349-w>

15. Fedotova G. Problems of digital transformation of customs services on classification of goods // ACM International Conference Proceeding Series. 2020. <https://doi.org/10.1145/3444465.3444503>
16. Gokinaeva I.A., Agapova A.V., Nikolaev A.S., Popova I.N., Murashova S.V. Problems of the development of innovation customs technologies in the formation of the digital economy // Proceedings of the 32nd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2018 - Vision 2020: Sustainable Economic Development and Application of Innovation Management from Regional expansion to Global Growth, 2018. P. 4487-4493.
17. Huang X., Wang Y., Zhu Z., Song X. Quality of imported intermediates, innovation behaviour and markups: Firm-level evidence from China // World Economy. 2022. Vol. 45 (9). P. 2796-2819. <https://doi.org/10.1111/twec.13270>
18. Kraus S., Durst S., Ferreira J.J., Veiga P., Kailer N., Weinmann A. Digital transformation in business and management research: An overview of the current status quo // International Journal of Information Management. 2022. Vol. 63. Article № 102466. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102466>
19. Makarenko V.G. Customs criminalistics (forensic science): A new concept for customs control // World Customs Journal. 2017. Vol. 11 (1). P. 73-82. <https://worldcustomsjournal.org/archive/volume-11-number-1-march-2017/>
20. Mergel I., Edelmann N., Haug N. Defining digital transformation: Results from expert interviews // Government Information Quarterly. 2019. Vol. 36 (4). Article № 101385. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2019.06.002>
21. Peter C. Verhoef, Thijs Broekhuizen, Yakov Bart, Abhi Bhattacharya, John Qi Dong, Nicolai Fabian, Michael Haenlein, Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda // Journal of Business Research. 2021. Vol. 122. P. 889-901. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022>
22. Sakulyeva T., Zalikhina K. The single window mechanism in the field of external sector of the economy // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2019. Vol. 10 (2). P. 2205-2212. [https://iaeme.com/MasterAdmin/Journal\\_uploads/IJCIET/VOLUME\\_10\\_ISSUE\\_2/IJCIET\\_10\\_02\\_219.pdf](https://iaeme.com/MasterAdmin/Journal_uploads/IJCIET/VOLUME_10_ISSUE_2/IJCIET_10_02_219.pdf)
23. Suglobov A.E., Gupanova Y.E., Nemirova G.I. The analysis of customs services practice in the conditions of the eurasian economic union: Problems and directions of improvement // Journal of Advanced Research in Law and Economics. 2019. Vol. 9 (4). P. 1259-1266. [https://doi.org/10.14505/jarle.v9.4\(34\).11](https://doi.org/10.14505/jarle.v9.4(34).11)
24. Scupola A., Mergel I. Co-production in digital transformation of public administration and public value creation // The case of Denmark Government Information Quarterly. 2022. Vol. 39 (1). Article № 101650. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2021.101650>

25. Suglobov A.E., Karpovich O.G., Rudakova T.I., Pimenov D.M., Koryagina I.A. The role of international organizations in managing the modern economic systems' innovative development // The Economic and Legal Foundations of Managing Innovative Development in Modern Economic Systems, edited by Elena G. Popkova, Aleksei V. Bogoviz and Artem Krivtsov, Berlin, Boston: De Gruyter Oldenbourg, 2020. P. 89-96. <https://doi.org/10.1515/9783110643701-010>
26. Verhoef P.C., Broekhuizen T., Bart Y., Bhattacharya A., Qi Dong J., Fabian N., Haenlein M. Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda // Journal of Business Research. 2021. Vol. 122. P. 889-901. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022>
27. Wilson C., Mergel I. Overcoming barriers to digital government: mapping the strategies of digital champions // Government Information Quarterly. 2022. Vol. 39 (2). Article № 101681. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2022.101681>
28. Zasko V., Sidorova E., Komarova V., Boboshko D., Dontsova O. Digitization of the customs revenue administration as a factor of the enhancement of the budget efficiency of the Russian Federation // Sustainability (Switzerland). 2021. Vol. 13 (19). Article № 10757. <https://doi.org/10.3390/su131910757>

#### DATA ABOUT THE AUTHORS

**Ivan V. Grekov**, Candidate of Economic Sciences, lecturer of the Department of Economics of Customs Affairs  
*Russian Customs Academy*  
*4, Komsomolsky Prospekt, Lyubertsy, Moscow, 140015, Russian Federation*  
*Grekovivan@gmail.com*  
*SPIN-code: 9320-8219*

**Ilia A. Aksenov**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of State Law and Management of Customs Activities  
*Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletov*  
*87, Gorky Str., Vladimir, 600000, Russian Federation*  
*Il\_aks@mail.ru*  
*SPIN-code: 4145-4764*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0541-327X>*  
*Researcher ID: O-6110-2017*  
*Scopus Author ID: 57216752275*

**Petr N. Afonin**, Doctor of Technical Sciences, Vice-Rector for Strategic Development

*St. Petersburg Electrotechnical University "LETI"*

*5, Professor Popov Str., St. Petersburg, 197376, Russian Federation*

*pnafonin@yandex.ru*

*SPIN-code: 9536-9924*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1306-3743>*

*Researcher ID: J-8495-2013*

*Scopus Author ID: 571 945 851 58*

**Dmitry V. Gorshkov**, Postgraduate Student of the Department of Customs Operations and Customs Control

*Russian Customs Academy*

*4, Komsomolsky Prospekt, Lyubertsy, Moscow, 140015, Russian Federation*

*gorshkov.dmitry@mail.ru*

#### **ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ**

**Греков Иван Владимирович**, кандидат экономических наук, преподаватель кафедры экономики таможенного дела

*Государственное казенное образовательное учреждение высшего образования «Российская таможенная академия»*

*Комсомольский проспект, 4, г. Люберцы, Московская область, 140015, Российская Федерация*

*Grekovivan@gmail.com*

**Аксенов Илья Антонович**, кандидат экономических наук, доцент кафедры государственное право и управление таможенной деятельностью

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»*

*ул. Горького, 87, г. Владимир, 600000, Российская Федерация*

*il\_aks@mail.ru*

**Афонин Петр Николаевич**, доктор технических наук, доцент, проректор по стратегическому развитию

*Федерального государственного автономного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет «ЛЭТИ»  
ул. Профессора Попова, 5, г. Санкт-Петербург, 197376, Российская  
Федерация  
pnafonin@yandex.ru*

**Горшков Дмитрий Валерьевич**, аспирант кафедры таможенных опера-  
ций и таможенного контроля  
*Государственное казенное образовательное учреждение высшего  
образования «Российская таможенная академия»  
Комсомольский проспект, 4, г. Люберцы, Московская область,  
140015, Российская Федерация  
gorshkov.dmitry@mail.ru*

Поступила 03.10.2022

После рецензирования 24.10.2022, 08.12.2022

Принята 15.12.2022

Received 03.10.2022

Revised 24.10.2022, 08.12.2022

Accepted 15.12.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-475-496

УДК 004.85:61.616



Научная статья | Медицинская информатика

## ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ СЕРДЦА

*А.И. Павлова*

*Работа посвящена применению алгоритмов машинного обучения для прогнозирования сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ). Ежегодно во всем мире фиксируется большое количество смертей. По данным Всемирной организации здравоохранения ССЗ являются основной причиной высокой смертности в мире. Одним из необходимых профилактических мер по снижению смертности от ССЗ является своевременное прогнозирование заболеваний у людей, подвергшихся высокому риску таких заболеваний.*

**Обоснование.** Для своевременного прогнозирования ССЗ в настоящее время используют специально разрабатываемые шкалы и алгоритмы машинного обучения. Для прогнозирования заболеваний сердца часто применяют алгоритмы: наивный байесовский классификатор (Naïve Bayes Classifier, NBC), *k*-ближайших соседей (K-Nearest Neighbors, KNN), дерево решений (Decision Tree, DT). В отечественной литературе известны работы, посвященные применению прогнозированию ССЗ с помощью градиентного алгоритма Adam при обучении глубокой нейронной сети. Одним из необходимых условий повышения прогностической способности модели машинного обучения (ММО) является оптимальный подбор гиперпараметров. Выбор оптимальных гиперпараметров ММО часто осуществляется на основании эмпирического опыта.

**Цель.** Изучить особенности применения машинных алгоритмов для прогнозирования заболеваний сердца.

**Материалы и методы.** Научная новизна работы. В проведенных исследованиях выполнен анализ алгоритмов машинного обучения для прогнозирования риска возникновения ССЗ с применением подхода автоматического поиска гиперпараметров ММО. Для построения ММО использованы следующие алгоритмы: NBC, KNN, DT, логистическая регрессия (Logistic Regression), машина опорных векторов (Support Vector Machine, SVM), случайные леса (Random Forest, RF), адаптированный полиномиальный байесовский классификатор

(Complement Naïve Bayes Classifier, CNBC), линейный дискриминантный анализ (Linear Discriminant Analysis, LDA), градиентный бустинг (XGBoost).

Для оценки точности моделей машинного обучения использованы показатели: средняя абсолютная ошибка (mean absolute error, MAE), точность (precision), полнота (recall), F-мера, доля ложноположительных примеров (False Positive Rate, FPR), доля отрицательных примеров (False Negative Rate, FNR). Дополнительно при анализе результатов построения ММО служил визуальный анализ кривой ROC (receiver operating characteristic) и площадь под кривой ROC (Areas under the curve, AUC). Использование значения AUC позволяет оценить прогностические возможности ММО.

**Результаты.** Результаты обучения показали, что алгоритмы RF и XGBoost характеризуются более высокими показателями точности. При оптимальном подборе параметров ММО общая точность классификации составила 0,88 и 0,94 соответственно.

**Заключение.** Применение алгоритмов машинного обучения позволяет с высокой точностью построить прогнозные модели. Ансамблевые алгоритмы машинного обучения RF и XGBoost характеризуются более высокими показателями точности в сравнении со следующими алгоритмами: деревья решений, байесовские методы классификации, логистическая регрессия, линейный дискриминантный анализ.

**Ключевые слова:** сердечно-сосудистые заболевания; алгоритмы машинного обучения; модель машинного обучения; прогнозирование

**Для цитирования.** Павлова А.И. Применение алгоритмов машинного обучения для прогнозирования заболеваний сердца // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №3. С. 475-496. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-475-496

Original article | Medical Informatics

## APPLICATION OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR HEART DISEASE PREDICTION

*A.I. Pavlova*

*This paper focuses on the application of machine learning algorithms to predict cardiovascular diseases (CVDs). Every year a large number of deaths are registered all over the world. According to the World Health Organisation, CVDs are the leading cause of high mortality in the world. One of the necessary preventive measures*

to reduce mortality from CVDs is the timely prediction of diseases in people at high risk of such diseases. Specially developed scales and machine learning algorithms are now being used for the timely prediction of CVDs.

**Background.** To predict heart disease, algorithms are often used: naive Bayesian classifier (Gaussian Naïve Bayes Classifier, GNBC), *k*-nearest neighbours (*K*-Nearest Neighbors, KNN), decision tree (Decision Tree, DT). In domestic literature, there are known works devoted to the application of SWD prediction using Adam gradient algorithm in deep neural network training. One of the necessary conditions for increasing the predictive ability of a machine learning model (MLM) is the optimal selection of hyperparameters. The choice of the optimal hyperparameters is often made on the basis of empirical experience.

**Purpose.** To explore the specific application of machine algorithms to the prediction of heart disease.

**Materials and methods.** Scientific novelty of the work. In this research we analyse machine learning algorithms for predicting the risk of CVDs using the approach of automatic search for hyperparameters MMO. The following algorithms were used to construct MMOs: NBS, KNN, DT, Logistic Regression, Support Vector Machine (SVM), Random Foorest (RF), Complement Naïve Bayes Classifier (CNBC), Linear Discriminant Analysis (LDA), Radial Basic Function (RBF), Gradient Boost (XGBoost). To evaluate the accuracy of machine learning models we used the following indicators: mean absolute error (MAE), precision, completeness (recall), *F*-measure (*F*-beta), False Positive Rate (FPR), False Negative Rate (FNR). Additionally, visual analysis of ROC curve (receiver operating characteristic) and areas under the curve (areas under the curve, AUC) were used to analyse the results of MMO. Using AUC value allows to estimate prognostic ability of MLM.

**Results.** The training results showed that RF and XGBoost algorithms are characterized by higher accuracy. With optimal selection of MMO parameters, the overall classification accuracy was 0.88 and 0.94 respectively.

**Conclusion.** The application of machine learning algorithms allows predictive models to be built with high accuracy. This requires the construction of a machine learning model. The ensemble machine learning algorithms RF and XGBoost have higher accuracy rates than the following algorithms: decision trees, Bayesian classification methods, logistic regression, linear discriminant analysis.

**Keywords:** cardiovascular diseases; machine learning algorithms; machine learning model; prediction

**For citation.** Pavlova A.I. Application of Machine Learning Algorithms for Heart Disease Prediction. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 475-496. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-475-496

## **Введение**

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) остаются одной из основных причин высокой смертности людей в мире. По данным Всемирной организации здравоохранения ежегодно фиксируют 17,3 млн. смертей. Большую часть (45% от всего количества смертей в год) составляют группы заболеваний: ССЗ, онкологические, бронхолегочные и сахарный диабет. Основными факторами наступления смерти от ССЗ являются сердечный приступ и инсульт [19].

В России ежегодно фиксируется высокая смертность среди взрослого населения на протяжении многих десятилетий. Более 80% от общего количества смертей обусловлено ишемической болезнью сердца и мозговыми инсультами [9, 20]. Артериальная гипертензия также является одним из главных факторов развития ССЗ [16, 20]. Профилактика ССЗ направлена на предупреждение и лечение болезней сердца. Развитие и принятие профилактических мер в современном понимании связывают с диагностированием, разработкой корректных шкал для оценки болезней сердца, использованием современных методов прогнозирования ССЗ и др. [2, 11, 12, 14]. Своевременное прогнозирование сердечно-сосудистых заболеваний позволяет более эффективно использовать лечебные ресурсы, включающее оперативное хирургическое лечение и дорогостоящее высокотехнологичное оборудование [9, 11, 13].

В зарубежной литературе для прогнозирования риска возникновения ССЗ применяют алгоритмы машинного обучения [16, 21, 22, 25, 28-30]. Машинное обучение включает различные классификаторы, используемые для контролируемого, неконтролируемого или ансамблевого обучения. За последние несколько лет подходы, включающие машинное обучение, оказывают значительное влияние на обнаружение и диагностику заболеваний в медицине [22, 37, 39]. В работе [34] успешно продемонстрированы возможности машинного обучения при прогнозировании ССЗ байесовскими методами. Авторами работы [35] было выявлено, что метод деревьев решений (Decision Tree, DT) имеет более высокие показатели точности в сравнении с наивным байесовский классификатор (Gaussian Naïve Bayes Classifier, GNBC). В работе [35] выполнен анализ следующих алгоритмов машинного обучения для прогнозирования болезней сердца: GNBC, KNN, метод деревьев решений, метод стохастического градиентного спуска, машина опорных векторов (Support Vector Machine, SVM), адаптивного бустинга AdaBoost. Для улучшения обучающей способности моделей машинного обучения (ММО) автором были использованы различные размеры валидационной выборки. В результате выявлено, что алгоритм KNN обладает наиболее более высокой прогностической спо-

способностью (точность результатов обучения составила 99,71%) в сравнении с другими алгоритмами. Метод KNN часто используется в зарубежной литературе и характеризуется простотой программной реализации [4]. В работах [17, 45] продемонстрировано, что методы SVM и случайный лес (Random Forest, RF) обладают более высокими показателями точности и скорости обучения в отличие от метода KNN.

В отечественной литературе для прогнозирования ССЗ предлагают разрабатывать специальные шкалы, необходимые на этапе оценки признаков машинного обучения, а также использовать глубокие искусственные нейронные сети [2, 10-12, 14].

В целом, подход машинного обучения предполагает «обучение» алгоритма на контрольном наборе данных, для которого известен статус заболевания (заболевание или отсутствие заболевания), а затем применение обученного алгоритма к переменному набору данных для прогнозирования статуса заболевания у пациентов, для которых он еще не определен. Более точное прогнозирование заболевания ССЗ с помощью алгоритмов машинного обучения позволит врачам улучшить обнаружение, диагностику, классификацию, стратификацию риска, потенциально минимизирует необходимое клиническое вмешательство при лечении пациентов.

При машинном обучении актуальны вопросы оптимального выбора гиперпараметров ММО. Под гиперпараметрами понимают параметры алгоритмов машинного обучения, значения которых устанавливаются перед обучением ММО [6]. Гиперпараметры используются в процессе обучения и поэтому служат для управления процессом обучения. Неправильный выбор гиперпараметров часто создает проблемы недостаточной или чрезмерной подгонки ММО. Выбор гиперпараметров можно осуществлять эмпирическим путем. Однако для более эффективной настройки ММО требуется большое количество валидационных данных, ранее не участвовавших в обучении. Ручной способ выбора гиперпараметров ММО требует существенных трудовых и временных затрат. Поэтому актуальны работы, посвященные изучению выбора гиперпараметров ММО в автоматическом режиме.

**Машинное обучение без учителя** часто применяют для снижения размерности входного признакового пространства. Алгоритмы машинного обучения без учителя предусматривают кластеризацию данных с разбиением их на однородные группы (классы, кластеры). Особенность применения алгоритмов машинного обучения состоит в отсутствии меток классов, позволяющих соотнести обучающие примеры к заранее известному классу. Разделение данных на классы производится на основании разнообразных

метрик близости. Наиболее известной метрикой близости в статистическом анализе данных и машинном обучении принято Евклидово расстояние [1, 5]. Отсутствие требований формирования обучающих выборок с метками классов делает привлекательными алгоритмы без учителя для решения задач кластеризации, снижения размерности данных, обнаружения выбросов, поиске закономерности распределения входных данных [8].

**Машинное обучение с учителем.** Алгоритмы машинного обучения с учителем предусматривают контролируемое обучение с использованием обучающего набора данных (обучающей выборки). Набор данных включает конечное множество объектов (примеров). Для решения задачи классификации алгоритмами машинного обучения должен быть задан определенный класс объектов: в обучающей выборке каждый пример описывается признаками и меткой. Метка используется для оценки принадлежности примеров к определенному классу объектов и может быть задана в виде целочисленных ответов 0 или 1 (0 – соответствует ответу «обучающий пример не принадлежит к определенному классу» и 1 – соответствует ответу «обучающий пример принадлежит к классу»).

При прогнозировании риска возникновения ССЗ алгоритмы машинного обучения используются для бинарной классификации. Входные признаки часто имеют числовой или категориальный характер.

**Новизна исследований** состоит в применении алгоритмов машинного обучения для прогнозирования сердечно-сосудистых заболеваний с применением подхода автоматического поиска гиперпараметров моделей машинного обучения.

### **Материалы и методы исследований**

Для построения модели машинного обучения использовали набор данных с 1025 примерами, представляющих собой описание состояния 1025 пациентов по 13 признакам (таблица 1), влияющим на риск возникновения ССЗ. Данные признаки описывают состояние пациента наличие типа боли в грудной клетке, уровень артериального давления и др. и используются в качестве предикторов в алгоритмах машинного обучения. Процедура прогнозирования ССЗ у пациента осуществлялась алгоритмами машинного обучения с учителем, для вычислительной работы которых каждому примеру было определено выходное значение целевой переменной. Значение целевой переменной *target* представляет собой метку классов и принимает два значения: 0 или 1, соответствующее отсутствию сердечно-сосудистых заболеваний или ее наличию соответственно.

Таблица 1.

**Признаки, использованные для характеристики состояния пациента**

<b>Признак</b>	<b>Обозначение</b>	<b>Единицы измерения</b>
Возраст (полных лет)	age	год
Пол пациента	sex	1 – мужской, 0 – женский
Тип боли в груди	cp	0 – типичная стенокардия 1 – атипичная стенокардия 2 – неангинальная боль 3 – бессимптомная
Уровень артериального давления	trestbps	мм рт.ст. миллиметры ртутного столба
Холестерин в сыворотке крови	chol	мг/дл
Сахар в крови	fsb	1 – более 120 мг/дл; 0 – менее более 120 мг/дл
Результаты электрокардиограммы в состоянии покоя	restecg	0 – норма, 1 – наличие аномалии ST-T волн, инверсии T волн и/или подъем или депрессия ST более 0,05 мВ, 2 – наличие вероятной или определенной гипертрофии левого желудочка согласно критериям Estes (Эстеса)
Максимальная частота сердечных сокращений	thalach	удары в минуту
Обнаружение стенокардии, вызванной физической нагрузкой	exang	1 – присутствует, 0 – отсутствует
Обнаружение у пациента депрессии сегмента ST, вызванной физической нагрузкой по сравнению с покоем	oldpeak	1 – присутствует, 0 – отсутствует
Максимальная нагрузка ST	slope	максимальная нагрузка ST Вверх: наклон вверх, плоский: плоский, вниз: наклон вниз
Количество крупных сосудов, окрашенных при флуороскопии	ca	1 – от 0 до 3; 0 – отсутствуют
Наличие дефекта	thal	0 – норма; 1 – фиксированный дефект; 2 – обратимый дефект
Наличие ССЗ	target	1 – присутствует, 0 – отсутствует

- В работе использованы алгоритмы машинного обучения с учителем:
- наивный байесовский классификатор (Gaussian Naïve Bayes Classifier, GNBC);
  - адаптированный полиномиальный байесовский классификатор (Complement Naïve Bayes Classifier, CNBC);
  - линейный дискриминантный анализ (Linear Discriminant Analysis, LDA);
  - k-ближайших соседей (K-Nearest Neighbors, KNN) [25];
  - деревья решений (Decision Tree, DT) [32,];
  - логистическая регрессия (Logistic Regression) [3,4,8];
  - машина опорных векторов (Support Vector Machine, SVM) [19,21,36,38,40,44];
  - случайный лес (Random Forest, RF) [18,27,28,43];
  - градиентного бустинга деревьев решений (XGBoost).

Процесс прогнозирования риска возникновения ССЗ методами машинного обучения включал следующие этапы:

- 1) импорт библиотек машинного обучения Numpy, Pandas, Scikit-learn, Matplotlib and Seaborn;
- 2) предварительная подготовка данных для обучения, связана с поиском и заполнением пропусков в данных;
- 3) нормализация входных данных с использованием функции StandardScaler библиотеки Scikit-learn;
- 4) разделение набора входных данных на обучающую (80% от общего количества примеров) и тестовую выборки (20% от общего количества примеров);
- 5) обучение модели машинного обучения с параметрами, заданными в библиотеке Scikit-learn по умолчанию;
- 6) подбор оптимальных параметров модели машинного обучения;
- 7) тестирование результатов машинного обучения на тестовой выборке данных;
- 8) оценка точности результатов машинного обучения.

Предварительная подготовка данных для обучения включала анализ распределения данных и предусматривала: анализ пропусков в данных, заполнение пропусков в случае их наличия, визуальный анализ распределения данных, корреляционный анализ данных.

Процесс подготовки данных для машинного обучения включал разделение данных на три выборки, используемых для различных целей: для обучения, тестирования и валидации. Для обучения было использовано

70% (718 примеров), для тестирования 15% (307 примеров) и для валидационной оценки 15% (307 примеров) от общего количества примеров.

Оценка качества модели машинного обучения осуществлялась по следующим параметрам: accuracy, precision, F1-Score, macro-averaging, ROC и AUC [3, 6, 7, 15].

Для оценки качества ММО применялся визуальный и количественных анализ ROC-кривой (Receiver Operator Characteristic), отражающих специфичность и чувствительность ММО. График ROC-кривой использовали в теории обнаружения сигналов при определении зависимости частоты правильно распознанных сигналов от частоты неправильно распознанных сигналов [24, 41]. ROC-кривая представляет собой функцию частоты истинно положительных результатов (чувствительность) от частоты ложноположительных результатов (специфичность). Отдельная точка на данном графике отображает возможности ММО в виде пары чувствительность/специфичность, соответствующую принятому порогу [3, 13, 46]. При визуальной оценке ROC-кривой принято считать, чем выше и левее она расположена относительно осей координат, тем лучшими прогностическими свойствами характеризуется ММО. ROC-кривая применяется при тестировании различных заболеваний в медицине [33, 42].

Для количественного анализа вычислялась площадь Area Under Curve (AUC), ограниченная справа и снизу осями координат, слева полученными точками классифицированных примеров. AUC определена с помощью библиотеки Scikit-learn методом трапеций. Для оценки значений AUC служила экспертная шкала (табл.2).

Таблица 2.

Шкала для оценки значений AUC [46]

Интервал	Качество ММО
0,5-0,6	Неудовлетворительное
0,6-0,7	Среднее
0,7-0,8	Хорошее
0,8-0,9	Очень хорошее
0,9-1,0	Отличное

### Результаты исследований

Построены графики распределения частот входных признаков машинного обучения и выходной переменной (рис. 1). Распределение исходных данных не подчиняется типичным формам распределения – равномерно и симметричному.

По результатам применения инженерной библиотеки Pandas Python было выявлено, что в исходном наборе данных отсутствуют пропуски (рис. 1). Проверка пропусков производилась с помощью метода `isnull`, позволяющая вычислить логическое значение в виде двумерной матрицы с ответами `True` или `False`, а также в виде одномерной матрицы (рис. 2).

	age	sex	cp	trestbps	chol	fbs	restecg	thalach	exang	oldpeak	slope	ca	thal	target
0	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False
1	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False
2	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False
3	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False
4	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1020	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False
1021	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False
1022	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False
1023	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False
1024	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False	False

Рис. 1. Проверка пропущенных значений в наборе данных

На рис. 2 представлено количество пропущенных значений по столбцам в наборе данных, вычисленных с помощью Pandas.

```

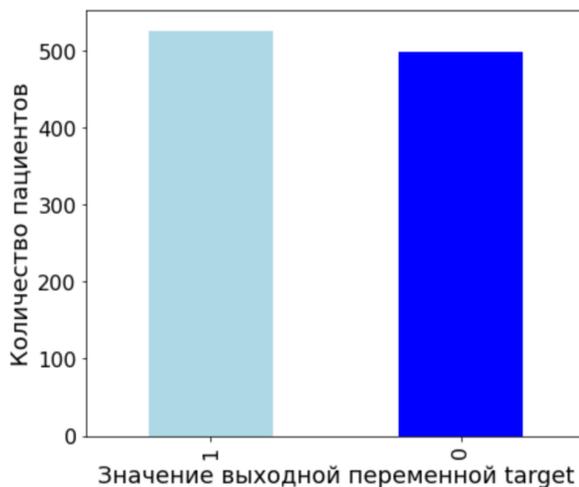
age          0
sex          0
cp           0
trestbps    0
chol        0
fbs         0
restecg     0
thalach     0
exang       0
oldpeak     0
slope       0
ca          0
thal        0
target      0
dtype: int64

```

Рис. 2. Результаты проверки пропусков в наборе данных

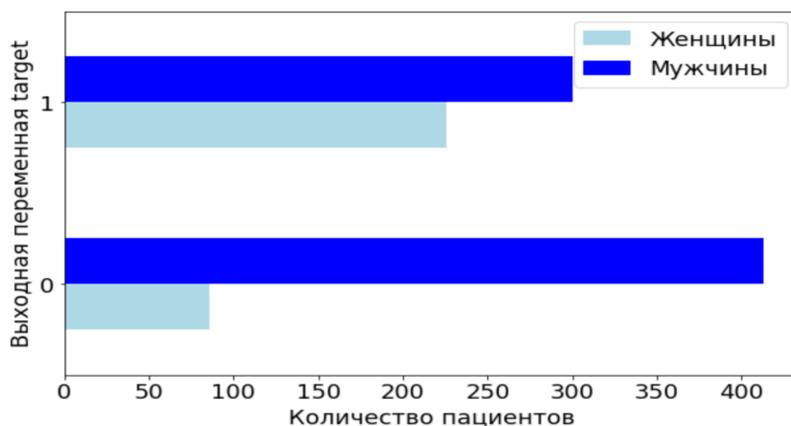
Распределение обучающих примеров по двум классам объектов, соответствующих положительным ответам составило 526, а отрицательными

ответами 499 (рис.3), поэтому разделение примеров можно считать сбалансированным.



**Рис. 3.** Гистограмма распределения выходной переменной по двум классам объектов (1 – положительный ответ, соответствующий наличию ССЗ у пациента; 0 – отрицательный ответ, соответствующий отсутствию ССЗ у пациента)

Наличие ССЗ обнаруживается в большинстве случаев у мужчин (на 100 случаев больше чем у женщин) (рис. 4).



**Рис. 4.** Количество пациентов с ССЗ среди мужчин и женщин

Результаты корреляционного анализа показали, что линейная зависимость между входными переменными и выходной переменной слабая (рис. 5). Наиболее выражена положительная корреляционная зависимость между типом боли в грудной клетке (0,43), максимальной частотой сердечных сокращений (0,42), максимальной нагрузкой ST (0,35).

Переменные, описывающие наличие стенокардии, вызванной физической нагрузкой и депрессии сегмента ST оказываются отрицательно коррелированы с выходной переменной с коэффициентом корреляции равным -0,44. При этом переменные, описывающие обнаружение у пациента более 3 крупных сосудов, окрашенных при проведении флюороскопии и наличие дефекта характеризуются слабой линейной отрицательной связью с риском возникновения ССЗ с коэффициентами, равными 0,38 и 0,34 соответственно.

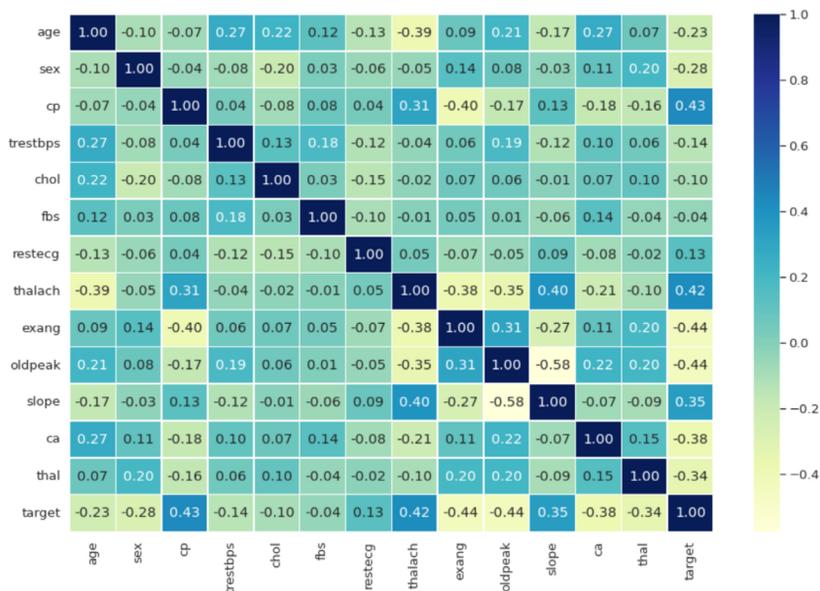


Рис. 5. Корреляционная матрица входных признаков

Для подбора оптимальных гиперпараметров ММО в работе использован метод Grid SearchCV ([https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.model\\_selection.GridSearchCV.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.model_selection.GridSearchCV.html)). Процесс подбора параметров производился по «сетке» в пределах определенного диапазона с опреде-

ленной длиной шага. В дальнейшем вычисленные параметры применены для обучения и тестирования модели машинного обучения.

Поиск по «сетке» гиперпараметров с помощью библиотеки Sklearn позволяет принимать на вход модель и различные значения гиперпараметров (сетку гиперпараметров). Для каждого возможного сочетания значений гиперпараметров с помощью метода Grid SearchCV вычисляется ошибка и подбирается сочетание гиперпараметров, при которых значение ошибки будет минимальным. В таблице 3 приведены результаты оценки точности ММО, вычисленные для тестовой и валидационной выборок данных. В таблице 3 приведены усредненные значения показателей точности по двум классам объектов.

ММО для алгоритмов NBC и CNBC имеют наиболее низкие значения точности. Метрики точности данных алгоритмов примерно равны. Средняя точность классификаторов составила 0,71 и 0,72 соответственно. Площадь под кривой ROC равна 0,69 и 0,72 соответственно и согласно экспертной оценке (табл.2) качество ММО можно условно оценить как «среднее».

Метрики точности ММО, рассчитанные для алгоритмов машинного обучения LDA, LG и KNN имеют близкие значения. Средняя точность классификаторов немного больше (на 0,02) в сравнении с байесовскими классификаторами. Площадь под кривой ROC для алгоритмов LDA, LG и KNN также имеет более высокие показатели в сравнении с байесовскими алгоритмами. Согласно табл.2 качество ММО можно охарактеризовать как «хорошее».

ММО, построенные с применением алгоритмов DT и SVM характеризуются хорошими показателями. Вычисленная точность классификаторов составила 0,84 и 0,85 соответственно. Значения F1-меры, полноты, площади под кривой колеблется от 0,74 до 0,86. Средняя ошибка классификаторов равна 0,83 и 0,84 соответственно. Согласно экспертной оценке (табл.2) качество ММО можно условно оценить как «очень хорошее».

Метрики точности ММО для алгоритмов RF и XGBoost имеют более высокие значения. Вычисленная точность классификаторов равна 0,91 и 0,93 соответственно, значение площади под кривой ROC составило 0,90 и 0,96. Согласно вычисленным показателям качество ММО данных алгоритмов можно охарактеризовать как «отличное».

Таблица 3.

**Результаты обучения машинного обучения**

Алгоритм	Precision	F1-score	Recall	AUC	Mean
LDA	0,74	0,78	0,69	0,72	0,73
NBC	0,68	0,76	0,70	0,69	0,71

Окончние табл. 3.

KNN	0,76	0,67	0,74	0,79	0,74
CNBC	0,69	0,75	0,72	0,72	0,72
LG	0,76	0,77	0,80	0,74	0,77
DT	0,84	0,86	0,82	0,81	0,83
SVM	0,85	0,81	0,83	0,85	0,84
RF	0,91	0,84	0,87	0,90	0,88
XGBoost	0,93	0,95	0,92	0,96	0,94

Примечание: Precision – точность; F1-score – мера F1; Recall – полнота; AUC (Area Under Curve) – площадь под кривой ROC; Mean – средняя ошибка. Алгоритмы машинного обучения: LDA – линейный дискриминантный анализ; NBC – наивный байесовский классификатор; KNN - k-ближайших соседей; CNBC – адаптированный полиномиальный байесовский классификатор; LG – логистическая регрессия; DT – деревья решений; SVM – машина опорных векторов; RF – случайный лес; XGBoost – градиентный бустинг.

### Заключение

Высокое значение recall указывает на меньшую склонность к ложно-отрицательным результатам. Наиболее низкие значения точности были получены при использовании линейного дискриминантного анализа. Для данной ММО характерны наиболее высокие значения ложных ответов в среднем выше на 5-10% в сравнении с RF и XGBoost.

Полученные результаты вычислений показали невысокую точность для ММО, построенных с помощью байесовских методов классификации. Наивный байесовский классификатор отличается незначительно по точности в сравнении с адаптированный полиномиальный байесовский классификатором на 0,02.

Интуитивно понятные ММО построенные с помощью алгоритмов логистической регрессии и KNN характеризуются примерно одинаковыми показателями точности. Хорошие показатели точности вычислены при использовании машины опорных векторов. Однако для данного алгоритма характерно большее количество ложноположительных ответов (примерно на 4-7%), в сравнении с алгоритмами RF и XGBoost.

Наиболее высокие прогностические способности и точностные характеристики присущи ММО, построенных с помощью алгоритмов машинного обучения – случайный лес RF и градиентный бустинг XGBoost. Точность классификаторов выше 0,85. Другие параметры ММО (recall, F1 score, AUC) тоже являются высокими. При этом XGBoost имеет наилучшие результаты по точности.

Использование множества решающих деревьев при работе алгоритма существенно повышает точность прогнозирования риска возникновения ССЗ в сравнении с методом дерева решений.

**Информация о конфликте интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Информация о спонсорстве.** Работа не имела спонсорской поддержки, автор не получал гонорар за исследование.

### *Список литературы*

1. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: классификация и снижение размерности. М.: Финансы и статистика, 1989. 607 с.
2. Белялов Ф.И. Прогнозирование заболеваний с помощью шкал // Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2018. Т.7. №.1. С. 84–93. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2018-7-1-84-93>
3. Ветров Д.П., Кропотов Д.А. Алгоритмы выбора моделей и построения коллективных решений в задачах классификации, основанные на принципе устойчивости. Москва, URSS, 2006. 112 с.
4. Воронцов К.В. Математические методы обучения по прецедентам (теория обучения машин). URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/6/6d/Voron-ML-1.pdf>
5. Воронцов К.В. Лекции по статистическим (байесовским) алгоритмам классификации. URL: <http://www.ccas.ru/voron/download/Bayes.pdf>
6. Вьюгин В.В. Математические основы теории машинного обучения и прогнозирования. М.: 2013. 387 с.
7. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен / Пер. с англ. М.: Мир, 1976. 511 с.
8. Загоруйко Н. Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. Новосибирск: ИМ СО РАН, 1999. 270 с.
9. 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>.
10. Литвин А.А., Калинин А.Л., Тризна Н.М. Использование данных доказательной медицины в клинической практике (сообщение 3 – диагностические исследования) // Проблемы здоровья и экологии. 2008. Т.18. №4. С.12-19.
11. Невзорова В.А., Плехова Н.Г., Присеко Л.Г. и др. Методы машинного обучения в прогнозировании исходов сердечно-сосудистых заболеваний с

- артериальной гипертензией (по материалам ЭССЭ-РФ в Приморском крае) // Российский кардиологический журнал. 2020. Т. 25. №3. С. 10–16. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-3-3751>
12. Панев Н.И., Евсеева Н.А., Филимонов С.Н., Коротенко О.Ю., Данилов И.П. Система прогнозирования развития ишемической болезни сердца у шахтёров с антракосиликозом // Медицина труда и промышленная экология. 2021. Т. 61. №.6. С. 365–370. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2021-61-6-365-370>
  13. Самигулин Т.Р., Джурабаев А.Э.У. Анализ тональности текста методами машинного обучения // Научный результат. Информационные технологии, 2021, Т. 6, №1. С.55–62. <https://doi.org/10.18413/2518-1092-2021-6-1-0-7>
  14. Смирнова М.Д., Свирида О.Н., Фофанова Т.В. и др. Алгоритм прогнозирования сердечно-сосудистых осложнений у больных низкого/умеренного риска с использованием классических и новых факторов (по данным десятилетнего наблюдения) // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2021. Т. 20. №. 6. С. 2799. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-2799>
  15. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов / Пер. с англ.; Пол ред. Ю. И. Журавлева. М.: Мир, 1978. 411 с.
  16. Чазова И.Е., Ошепкова Е.В. Опыт борьбы с сердечно-сосудистыми заболеваниями в России // Аналитический вестник. 2015. № 44(597). С.4-8.
  17. Aravind Akella, Sudheer Akella Machine learning algorithms for predicting coronary artery disease: efforts toward an open source solution // Future Science OA, 2021. <https://doi.org/10.2144/fsoa-2020-0206>
  18. Breiman L. Random Forest // Machine Learning, 2001, vol. 45, no. 1, pp. 5-32.
  19. Bordes A., Ertekin S., Weston J., Bottou L. Fast Kernel Classifiers with Online and Active Learning // Journal of Machine Learning Research, 2005, no. 6, pp. 1579–1619.
  20. Cardiovascular disease. World Health Organization website. 2022. [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds))
  21. Cortes C., Vapnik V. Support vector networks // Machine Learning, 1995, no. 20, pp. 273–297.
  22. Cuocolo R., Perillo T., De Rosa E., Ugga L., Petretta M. Current applications of big data and machine learning in cardiology // Journal Geriatric Cardiology, 2019, vol. 16, no.8, pp.601 – 607.
  23. Deo R.C. Machine learning in medicine // Circulation, 2015, vol. 132, no. 20, pp. 1920- 1930.
  24. Fawcett T. An introduction to ROC analysis // Pattern Recognition Letters, 2006, vol. 27, no 8, pp. 861-874.

25. Forgy E.W. Cluster analysis of multivariate data: efficiency versus interpretability of classifications // *Biometrics*, 1965, vol. 21, pp. 768–769.
26. Foster K.R., Koprowski R., Skufca J.D. Machine learning, medical diagnosis, and biomedical engineering research-commentary // *Biomedical Engineering Online*, 2014, no. 13, article no. 94. <https://biomedical-engineering-online.biomedcentral.com/articles/10.1186/1475-925X-13-94>
27. Guyon, B. Boser, Vapnik V. Automatic capacity tuning of very large VC-dimension classifiers. In S. J. Hanson, J. D. Cowan, and C. Lee Giles, editors, *Advances in Neural Information Processing Systems*, Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, 1993, pp. 147–155.
28. Ho T. K. The Random subspace method for construction decision tree forests // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1998, vol. 20, no. 8, pp. 832–844. <https://doi.org/10.1109/34.709601>
29. Karimollah Hajian-Tilaki Receiver Operating Characteristic (ROC) Curve Analysis for Medical Diagnostic Test Evaluation // *Caspian Journal of Internal Medicine*, 2013, vol. 4, no. 2, pp. 627–635. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3755824/>
30. Khan Y, Qamar U, Yousaf N, Khan A. Machine learning techniques for heart disease datasets // *Proceedings of the 2019 11th International Conference on Machine Learning and Computing – ICMLC '19*, 2019. <https://doi.org/10.1145/3318299.3318343>
31. Khaled M.A. Prediction of heart disease and classifiers sensitivity analysis // *Almustafa BMC Bioinformatics*, 2020, no. 21, Article number: 278. <https://doi.org/10.1186/s12859-020-03626-y>
32. Kohavi R., Quinlan J.R. Decision tree discovery. C5.1.3. 1999. <https://ai.stanford.edu/~ronnyk/treesHB.pdf>
33. Kummar R, Indrayan A. Receiver operating characteristic (ROC) curve for medical researchers // *Indian Pediatrics*, 2011, vol. 48, no. 7, pp. 277-89.
34. Lu Y, Dendukuri N., Schiller I., Joseph L. A Bayesian approach to simultaneously adjusting for verification and reference standard bias in diagnostic test studies // *Statistics in medicine*, 2010, no. 29, pp. 2532-2543.
35. Maheswari S., Pitchai R. Heart disease prediction system using decision tree and naive bayes algorithm // *Current Medical Imaging*, 2019, no. 15, pp. 712–77. <https://doi.org/10.2174/1573405614666180322141259>
36. Nefedov A. Support Vector Machines: A Simple Tutorial. 2016. [https://svmtutorial.online/download.php?file=SVM\\_tutorial.pdf](https://svmtutorial.online/download.php?file=SVM_tutorial.pdf)
37. Obermeyer Z., Ezekiel J.E. Predicting the future – big data, machine learning, and clinical medicine // *The New England Journal of Medicine*, 2016, vol. 375, no.13, pp. 1216–1219.

38. Quinlan J. R. Induction of decision trees // *Machine Learning*, 1986, vol. 1, no. 1, pp. 81-106.
39. Sajda P. Machine learning for detection and diagnosis of disease // *Annual Review of Biomedical Engineering*, 2006, no. 8, pp. 537–565.
40. Suykens J.A., Vandewalle J. Least squares support vector machine classifiers // *Neural Process Letters*, 2004, vol. 9, no. 3, pp. 293–300.
41. Swets J.A. ROC analysis applied to the evaluation of medical imaging techniques // *Investigative Radiology*, 1979, no. 14, pp.109-21.
42. Tsay D., Patterson C. From machine learning to artificial intelligence applications in cardiac care: real-world examples in improving imaging and patient access // *Circulation*, 2018, vol.138, no. 22, pp. 2569–2575.
43. Twala B. An empirical comparison of techniques for handling incomplete data using decision trees // *Applied Artificial Intelligence*, 2009, no. 23, pp. 373–405.
44. Vapnik V., Lerner A. Pattern recognition using generalized portrait method // *Automation and Remote Control*, 1963, no. 24, pp. 774–780.
45. Ziyu Jin, Ning Li Diagnosis of each main coronary artery stenosis based on whale optimization algorithm and stacking model // *Mathematical Biosciences and Engineering*, 2022, vol.19, is. 5, pp.4568-4591. <https://doi.org/10.3934/mbe.2022211>
46. Zou K.H., O'Malley A.J., Mauri L. Receiver-Operating Characteristic Analysis for Evaluating Diagnostic Tests and Predictive Models // *Circulation*, 2007, is.5, vol. 115, pp. 654 – 657.

### References

1. Ayzvazyan S.A., Bukhshtaber V.M., Enyukov I.S., Meshalkin L.D. *Prikladnaya statistika: klassifikatsiya i snizhenie razmernosti* [Applied Statistics: Classification and Dimension Reduction]. M.: Finance and statistics, 1989. 607 p.
2. Belyalov F.I. *Kompleksnyye problemy serdechno-sosudistyykh zabolevaniy*, 2018, vol. 7, no. 1, pp. 84–93. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2018-7-1-84-93>
3. Vetrov D.P., Kropotov D.A. *Algoritmy vybora modeley i postroeniya kollektivnykh resheniy v zadachakh klassifikatsii, osnovannye na printsipe ustoychivosti* [Algorithms for choosing models and constructing collective solutions in classification problems based on the principle of stability]. Moscow, URSS, 2006, 112 p.
4. Vorontsov K.V. *Matematicheskie metody obucheniya po pretsedentam (teoriya obucheniya mashin)* [Mathematical methods of learning by precedents (the theory of machine learning)]. <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/6/6d/Voron-ML-1.pdf>

5. Vorontsov K.V. *Leksii po statisticheskim (bayesovskim) algoritmam klassifikatsii* [Lectures on statistical (Bayesian) classification algorithms]. <http://www.ccas.ru/voron/download/Bayes.pdf>
6. V'yugin V.V. *Matematicheskie osnovy teorii mashinnogo obucheniya i prognozirovaniya* [Mathematical foundations of the theory of machine learning and forecasting]. M., 2013, 387 p.
7. Duda R., Hart P. *Raspoznavanie obrazov i analiz stsen* [Pattern recognition and scene analysis]. M.: Mir, 1976, 511 p.
8. Zagoruyko N.G. *Prikladnye metody analiza dannykh i znaniy* [Applied methods of data and knowledge analysis]. Novosibirsk: IM SO RAN, 1999, 270 p.
9. Kardiovaskulyarnaya profilaktika 2017. Rossiyskie natsional'nye rekomendatsii [Cardiovascular prevention 2017. Russian national guidelines]. *Rossiyskiy kardiologicheskii zhurnal*, 2018, no. 6, pp. 7-122. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2018-6-7-122>
10. Litvin A.A., Kalinin A.L., Trizna N.M. *Problemy zdorov'ya i ekologii*, 2008, vol. 18, no. 4, pp. 12-19.
11. Nevzorova V.A., Plekhova N.G., Priseko L.G. et al. *Rossiyskiy kardiologicheskii zhurnal*, 2020, vol. 25, no. 3, pp. 10–16. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-3-3751>
12. Panev N.I., Evseeva N.A., Filimonov S.N., Korotenko O.Yu., Danilov I.P. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2021, vol. 61, no. 6, pp. 365–370. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2021-61-6-365-370>
13. Samigulin T.R., Dzhurabaev A.E.U. *Nauchnyy rezul'tat. Informatsionnye tekhnologii*, 2021, vol. 6, no. 1, pp. 55–62. <https://doi.org/10.18413/2518-1092-2021-6-1-0-7>
14. Smirnova M.D., Svirida O.N., Fofanova T.V. et al. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika*, 2021, vol. 20, no. 6, p. 2799. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-2799>
15. Tu J., Gonzalez R. *Printsipy raspoznavaniya obrazov* [Principles of pattern recognition] / ed. Yu. I. Zhuravlev. M.: Mir, 1978, 411 p.
16. Chazova I.E., Oshepkova E.V. *Analiticheskii vestnik*, 2015, no. 44(597), pp. 4-8.
17. Aravind Akella, Sudheer Akella Machine learning algorithms for predicting coronary artery disease: efforts toward an open source solution. *Future Science OA*, 2021. <https://doi.org/10.2144/foa-2020-0206>
18. Breiman L. Random Forest. *Machine Learning*, 2001, vol. 45, no. 1, pp. 5-32.
19. Bordes A., Ertekin S., Weston J., Bottou L. Fast Kernel Classifiers with Online and Active Learning. *Journal of Machine Learning Research*, 2005, no. 6, pp. 1579–1619.

20. Cardiovascular disease. World Health Organization website. 2022. [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds))
21. Cortes C., Vapnik V. Support vector networks. *Machine Learning*, 1995, no. 20, pp. 273–297.
22. Cuocolo R., Perillo T., De Rosa E., Ugga L., Petretta M. Current applications of big data and machine learning in cardiology. *Journal Geriatric Cardiology*, 2019, vol. 16, no.8, pp.601-607.
23. Deo R.C. Machine learning in medicine. *Circulation*, 2015, vol. 132, no. 20, pp. 1920- 1930.
24. Fawcett T. An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters*, 2006, vol. 27, no 8, pp. 861-874.
25. Forgy E.W. Cluster analysis of multivariate data: efficiency versus interpretability of classifications. *Biometrics*, 1965, vol. 21, pp. 768–769.
26. Foster K.R., Koprowski R., Skufca J.D. Machine learning, medical diagnosis, and biomedical engineering research-commentary. *Biomedical Engineering Online*, 2014, no. 13, article no. 94. <https://biomedical-engineering-online.biomed-central.com/articles/10.1186/1475-925X-13-94>
27. Guyon, B. Boser, Vapnik V. Automatic capacity tuning of very large VC-dimension classifiers. In S. J. Hanson, J. D. Cowan, and C. Lee Giles, editors, *Advances in Neural Information Processing Systems*, Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, 1993, pp. 147–155.
28. Ho T. K. The Random subspace method for construction decision tree forests. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1998, vol. 20, no. 8, pp. 832–844. <https://doi.org/10.1109/34.709601>
29. Karimollah Hajian-Tilaki Receiver Operating Characteristic (ROC) Curve Analysis for Medical Diagnostic Test Evaluation. *Caspian Journal of Internal Medicine*, 2013, vol. 4, no. 2, pp. 627–635. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3755824/>
30. Khan Y, Qamar U, Yousaf N, Khan A. Machine learning techniques for heart disease datasets. *Proceedings of the 2019 11th International Conference on Machine Learning and Computing – ICMLC '19*, 2019. <https://doi.org/10.1145/3318299.3318343>
31. Khaled M.A. Prediction of heart disease and classifiers sensitivity analysis. *Almustafa BMC Bioinformatics*, 2020, no. 21, Article number: 278. <https://doi.org/10.1186/s12859-020-03626-y>
32. Kohavi R., Quinlan J.R. Decision tree discovery. C5.1.3. 1999. <https://ai.stanford.edu/~ronnyk/treesHB.pdf>
33. Kummur R, Indrayan A. Receiver operating characteristic (ROC) curve for medical researchers. *Indian Pediatrics*, 2011, vol. 48, no. 7, pp. 277-89.

34. Lu Y., Dendukuri N., Schiller I., Joseph L. A Bayesian approach to simultaneously adjusting for verification and reference standard bias in diagnostic test studies. *Statistics in medicine*, 2010, no. 29, pp. 2532–2543.
35. Maheswari S., Pitchai R. Heart disease prediction system using decision tree and naive bayes algorithm. *Current Medical Imaging*, 2019, no. 15, pp. 712–77. <https://doi.org/10.2174/1573405614666180322141259>
36. Nefedov A. Support Vector Machines: A Simple Tutorial. 2016. [https://svmtutorial.online/download.php?file=SVM\\_tutorial.pdf](https://svmtutorial.online/download.php?file=SVM_tutorial.pdf)
37. Obermeyer Z., Ezekiel J.E. Predicting the future – big data, machine learning, and clinical medicine. *The New England Journal of Medicine*, 2016, vol. 375, no.13, pp. 1216–1219.
38. Quinlan J. R. Induction of decision trees. *Machine Learning*, 1986, vol. 1, no. 1, pp. 81–106.
39. Sajda P. Machine learning for detection and diagnosis of disease. *Annual Review of Biomedical Engineering*, 2006, no. 8, pp. 537–565.
40. Suykens J.A., Vandewalle J. Least squares support vector machine classifiers. *Neural Process Letters*, 2004, vol. 9, no. 3, pp. 293–300.
41. Swets J.A. ROC analysis applied to the evaluation of medical imaging techniques. *Investigative Radiology*, 1979, no. 14, pp.109–21.
42. Tsay D., Patterson C. From machine learning to artificial intelligence applications in cardiac care: real-world examples in improving imaging and patient access. *Circulation*, 2018, vol.138, no. 22, pp. 2569–2575.
43. Twala B. An empirical comparison of techniques for handling incomplete data using decision trees. *Applied Artificial Intelligence*, 2009, no. 23, pp. 373–405.
44. Vapnik V., Lerner A. Pattern recognition using generalized portrait method. *Automation and Remote Control*, 1963, no. 24, pp. 774–780.
45. Ziyu Jin, Ning Li Diagnosis of each main coronary artery stenosis based on whale optimization algorithm and stacking model. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 2022, vol.19, is. 5, pp.4568–4591. <https://doi.org/10.3934/mbe.2022211>
46. Zou K.H., O’Malley A.J., Mauri L. Receiver-Operating Characteristic Analysis for Evaluating Diagnostic Tests and Predictive Models. *Circulation*, 2007, is.5, vol. 115, pp. 654 – 657.

#### ДААННЫЕ ОБ АВТОРЕ

**Павлова Анна Илларионовна**, кандидат технических наук, доцент  
*Новосибирский государственный университет экономики и управления*  
*ления*

*ул. Каменская, 56, г. Новосибирск, 630039, 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 29.08.2022

После рецензирования 05.12.2022

Принята 23.12.2022

Received 29.08.2022

Revised 05.12.2022

Accepted 23.12.2022

## 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

- К ВОПРОСУ ОБ ИЗМЕНЕНИИ МОРФОЛОГИИ СЕЛЕЗЕНКИ  
ПРИ НЕМАТОДОЗАХ У МЫШЕЙ ПРИ ИММУНОСТИМУЛЯЦИИ  
**О.Б. Жданова, О.В. Часовских,  
О.В. Руднева, А.В. Успенский** ..... 11
- ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СТРЕССА  
НА НЕСПЕЦИФИЧЕСКУЮ РЕЗИСТЕНТНОСТЬ  
ОРГАНИЗМА КОРОВ  
**А.В. Дерюгина, М.Н. Иващенко, В.Б. Метелин,  
Р.С. Ковьлин, П.С. Игнатъев** ..... 26
- ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ  
СЕРДЦА ЧЕЛОВЕКА В ПЕРИОД ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ  
ЖЕЛУДОЧКОВ ПРИ ОСТРОЙ НОРМОБАРИЧЕСКОЙ  
ГИПОКСИИ  
**Е.В. Заменина, Н.И. Ивонина, И.М. Рощевская** ..... 41
- СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ**
- SENSORY EVALUATION OF GAYO PEABERRY ARABICA  
COFFEE BY USING THE ANP METHOD  
**R. Fadhil, S. Safrizal, R. Khathir, P. Navisah** ..... 58
- О НОВОМ УРОВНЕ САМООРГАНИЗАЦИИ В СИСТЕМЕ  
УПРАВЛЕНИЯ ЗЕМЛЕДЕЛИЕМ  
**В.В. Белозеров, И.В. Ворошилов,  
О.И. Катин, М.А. Никулин** ..... 71
- УПРАВЛЕНИЕ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК ОРГАНИЧЕСКОЙ  
ПРОДУКЦИИ В ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ СИСТЕМЕ РЕГИОНА  
**О.Ю. Воронкова, Л.И. Петрова, А.Ю. Межова,  
И.Ю. Ануфриева, А.А. Слуккина** ..... 99

---

ОСОБЕННОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ШЕРСТНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ТУВИНСКИХ КОЗЛОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОЗРАСТА <b>Р.Ш. Иргит, А.А. Ходусов, М.Е. Пономарева, С.Н. Ондар, Р.Ш. Салбырын, М.И. Донгак</b> .....	119
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ БОЛЬШИХ ДАННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ ТЕРРИТОРИИ <b>А.И. Павлова</b> .....	139
ФОРМИРОВАНИЕ МЯСНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ У БЫЧКОВ РАЗНЫХ ГЕНОТИПОВ DGAT1 <b>Т.А. Седых, Л.А. Калашникова, И.Ю. Долматова, Р.С. Гизатуллин, В.И. Косилов</b> .....	155
ПРОДУКТИВНЫЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОВЕЦ ПОРОДЫ РОССИЙСКИЙ МЯСНОЙ МЕРИНОС ПРИ РАЗНОМ ЛИНЕЙНОМ ПОДБОРЕ <b>Е.Н. Чернобай, С.А. Олейник, О.Н. Онищенко, С.В. Литвинов, А.И. Суров</b> .....	175
ВЛИЯНИЕ КУМАРИНА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ, ИММУНИТЕТ И АНТИОКСИДАНТНЫЙ СТАТУС ЗДОРОВЫХ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ <b>Г.К. Дускаев, Т.А. Климова</b> .....	197
МОРФОТИПИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ К ДИФЕНОКОНАЗОЛУ ПОПУЛЯЦИЙ ВОЗБУДИТЕЛЯ ПАРШИ ЯБЛОНИ, РАЗЛИЧАЮЩИХСЯ ИСТОРИЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ФУНГИЦИДА <b>А.И. Насонов, М.В. Бардак</b> .....	219
<b>ЗДРАВООХРАНЕНИЕ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА</b>	
СУБЪЕКТИВНЫЙ ВОЗРАСТ И СУБЪЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА ЗДОРОВЬЯ ЖЕНЩИН С РАКОМ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ <b>Е.А. Сергиенко, Д.А. Циринг, Я.Н. Пахомова, И.В. Пономарева</b> .....	239

## НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ И СООБЩЕНИЯ

ПАТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЛИЯНИЯ  
СЕЗОННОСТИ НА СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ ПАЦИЕНТОВ  
С ХРОНИЧЕСКОЙ ПАТОЛОГИЕЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ  
СИСТЕМЫ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

**И.И. Хамнагадаев, Р.А. Яскевич,  
О.Л. Москаленко** ..... 254

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА  
РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЧРЕСКОСТНОГО  
ОСТЕОСИНТЕЗА У МЕЛКИХ ДОМАШНИХ ЖИВОТНЫХ  
В СОВРЕМЕННОЙ ВЕТЕРИНАРНОЙ ПРАКТИКЕ

**И.Г. Киселев, М.И. Родин** ..... 279

ЛУЧШИЕ ПРАКТИКИ ПРИМЕНЕНИЯ  
ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ И ЗА РУБЕЖОМ

**С.А. Федоткина, А.Х. Ахминеева,  
М.Г. Карайланов** ..... 295

ПАНОРАМА ЖЕЛУДОЧНОГО И КИШЕЧНОГО  
КАНЦЕРОГЕНЕЗА: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

**Е.С. Агеева, О.В. Штыгашева, Ю.И. Шрамко** ..... 313

## ОПЫТ РЕГИОНОВ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО  
МЕХАНИЗМА РАЗВИТИЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
В АГРАРНО-ПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ СИБИРИ

**А.С. Третьяк, И.Ю. Ваславская, А.Л. Полтарыхин,  
А.А. Благодатская** ..... 337

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО  
МЕХАНИЗМА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПИЩЕВОЙ  
И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**И.С. Абдуллаев, П.А. Курбанов, Р.А. Алешко,  
Ю.Ю. Финогенова** ..... 357

---

УЛУЧШЕНИЕ УСЛОВИЙ ТРУДА В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ ПУТЕМ ФОРМИРОВАНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ АГРАРНО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА <b>В.И. Куц, М.В. Абушенкова, П.В. Журавлев, В.С. Курнос</b> .....	387
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССОВ РЕКУЛЬТИВАЦИИ КАРЬЕРНО-ОТВАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ КРЫМА <b>В.Г. Кобечинская, О.Б. Ярош, И.Б. Просянникова</b> .....	409
<b>МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ</b>	
ПОРЯДОК УЧАСТИЯ СУБЪЕКТОВ МАЛОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА-СЕЛЬХОЗТОВАРОПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ В ГОСУДАРСТВЕННОМ ЗАКУПОЧНОМ ПРОЦЕССЕ <b>С.Н. Коваленко, Н.А. Проданова, Н.Д. Георгадзе, А.А. Сергеев</b> .....	436
МОДЕЛЬ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ТАМОЖЕННЫХ УСЛУГ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТАМОЖЕННОГО КОНТРОЛЯ ТОВАРОВ, ПЕРЕСЫЛАЕМЫХ В МЕЖДУНАРОДНЫХ ПОЧТОВЫХ ОТПРАВЛЕНИЯХ (НА ПРИМЕРЕ МЕДИЦИНСКИХ ПРЕПАРАТОВ) <b>И.В. Греков, И.А. Аксенов, П.Н. Афонин, Д.В. Горшков</b> .....	458
ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ СЕРДЦА <b>А.И. Павлова</b> .....	475
<b>ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ</b> .....	497

## CONTENTS

### BIOLOGICAL SCIENCES

- ON THE ISSUE OF CHANGING THE MORPHOLOGY  
OF THE SPLEEN IN NEMATODOSES IN MICE DURING  
IMMUNOSTIMULATION  
**O.B. Zhdanova, O.V. Chassokikh,  
O.V. Rudneva, A.V. Uspensky** ..... 11
- INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL  
STRESS ON NON-SPECIFIC RESISTANCE OF THE ORGANISM  
OF COWS  
**A.V. Deryugina, M.N. Ivashchenko, V.B. Metelin,  
R.S. Kovylin, P.S. Ignatiev** ..... 26
- ELECTRICAL ACTIVITY OF THE HUMAN HEART  
DURING THE PERIOD OF VENTRICULAR DEPolarIZATION  
UNDER ACUTE NORMOBARIC HYPOXIA  
**E.V. Zamenina, N.I. Ivonina,  
I.M. Roshchevskaya** ..... 41

### AGRICULTURAL SCIENCES

- SENSORY EVALUATION OF GAYO PEABERRY ARABICA  
COFFEE BY USING THE AHP METHOD  
**R. Fadhil, S. Safrizal, R. Khathir, P. Navisah** ..... 58
- ABOUT A NEW LEVEL OF SELF-ORGANIZATION  
IN THE AGRICULTURAL MANAGEMENT SYSTEM  
**V.V. Belozеров, I.V. Voroshilov, O.I. Katin,  
M.A. Nikulin** ..... 71
- ORGANIC SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PRODUCTS  
IN FOOD CLUSTERS: REGIONAL ASPECT  
**O.Yu. Voronkova, L.I. Petrova, A.Yu. Mezхова,  
I.Yu. Anufrieva, A.A. Slukina** ..... 99

---

INDICATORS OF DOWNY FIBER DIAMETER OF TUVA MALE GOATS DEPENDING ON AGE <b>R.Sh. Irgit, A.A. Khodusov, M.E. Ponomareva, S.N. Ondar, R.Sh. Salbyryn, G.L. Oyun</b> .....	119
APPLICATION OF BIG DATA TECHNOLOGIES TO ASSESS THE NATURAL MOISTURE OF THE TERRITORY <b>A.I. Pavlova</b> .....	139
DEVELOPING MEAT PRODUCTIVITY IN BULL CALVES OF DIFFERENT DGAT1 GENOTYPES <b>T.A. Sedykh, L.A. Kalashnikova, I.Yu. Dolmatova, R.S. Gizatullin, V.I. Kosilov</b> .....	155
PRODUCTIVE AND BIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF RUSSIAN MEAT MERINOS SHEEP WITH DIFFERENT LINEAR SELECTION <b>E.N. Chernobai, S.A. Oleinik, O.N. Onishchenko, S.V. Litvinov, A.I. Surov</b> .....	175
INFLUENCE OF COUMARIN ON PRODUCTIVITY, IMMUNITY AND ANTIOXIDANT STATUS OF HEALTHY BROILERS <b>G.K. Duskaev, T.A. Klimova</b> .....	197
MORPHOTYPIC COMPOSITION AND DIFENOCONAZOLE SENSITIVITY OF APPLE SCAB PATHOGEN POPULATIONS THAT DIFFER IN THE HISTORY OF FUNGICIDE APPLICATION <b>A.I. Nasonov, M.V. Bardak</b> .....	219
<b>PUBLIC HEALTH AND PREVENTIVE MEDICINE</b>	
SUBJECTIVE AGE AND SUBJECTIVE EVALUATION OF THE HEALTH OF WOMEN WITH BREAST CANCER <b>E.A. Sergienko, D.A. Tsiring, Ya.N. Pakhomova, I.V. Ponomareva</b> .....	239

**SCIENTIFIC REVIEWS AND REPORTS**

- PATHOGENETIC ASPECTS OF THE INFLUENCE OF SEASONALITY  
ON THE HEALTH OF PATIENTS WITH CHRONIC PATHOLOGY  
OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM: LITERATURE REVIEW  
**I.I. Khamnagadaev, R.A. Yaskevich, O.L. Moskalenko** .....254
- COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF DIFFERENT SYSTEMS  
FOR PROVIDING TRANSOSSEOUS OSTEOSYNTHESIS IN SMALL  
PETS IN MODERN VETERINARY PRACTICE  
**I.G. Kiselev, M.I. Rodin** .....279
- BEST PRACTICES FOR THE APPLICATION OF TELEMEDICAL  
TECHNOLOGIES IN THE RUSSIAN FEDERATION AND ABROAD  
**S.A. Fedotkina, A.Kh. Akhmineeva, M.G. Karailanov** .....295
- PANORAMA OF GASTRIC AND INTESTINAL CARCINOGENESIS:  
LITERATURE REVIEW  
**E.S. Ageeva, O.V. Shtygasheva, Iu.I. Sharmko** .....313

**EXPERIENCE OF REGIONS**

- IMPROVEMENT OF THE ORGANIZATIONAL  
AND ECONOMIC MECHANISM FOR THE DEVELOPMENT  
OF INVESTMENT ACTIVITIES IN THE AGRICULTURAL  
AND INDUSTRIAL COMPLEX OF SIBERIA  
**A.S. Tretyak, I.Yu. Vaslavskaya, A.L. Poltarykhin,  
A.A. Blagodatskaya** .....337
- IMPROVEMENT OF THE ORGANIZATIONAL AND ECONOMIC  
MECHANISM OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF THE FOOD  
AND PROCESSING INDUSTRY  
**I.S. Abdullaev, P.A. Gurbanov, R.A. Aleshko,  
Yu.Yu. Finogenov** .....357
- IMPROVEMENT OF WORKING CONDITIONS IN RURAL  
AREAS THROUGH THE FORMATION OF INFRASTRUCTURE  
FOR AGRICULTURAL SERVICES  
**V.I. Kuts, M.V. Abushenkova, P.V. Zhuravlev, V.S. Kurnosov** .....387

---

---

ECOLOGICAL MONITORING OF THE RECLAMATION PROCESSES  
OF THE QUARRY COMPLEXES OF CRIMEA

**V.G. Kobechinskaya, O.B. Yarosh, I.B. Prosyannikova** .....409

**INTERDISCIPLINARY RESEARCH**

THE PROCEDURE FOR THE PARTICIPATION  
OF SMALL BUSINESS ENTITIES-AGRICULTURAL PRODUCERS  
IN THE PUBLIC PROCUREMENT PROCESS

**S.N. Kovalenko, N.A. Prodanova, N.D. Georgadze,  
A.A. Sergeenkov** .....436

MODEL OF DIGITAL TRANSFORMATION  
OF CUSTOMS SERVICES AIMED AT MAKING CUSTOMS CONTROL  
OF GOODS SENT BY INTERNATIONAL MAIL MORE EFFECTIVE  
(WITH REFERENCE TO MEDICAL DRUGS)

**I.V. Grekov, I.A. Aksenov, P.N. Afonin, D.V. Gorshkov** .....458

APPLICATION OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS  
FOR HEART DISEASE PREDICTION

**A.I. Pavlova** .....475

**RULES FOR AUTHORS** .....497

Подписано в печать 30.06.2023. Дата выхода в свет 30.06.2023. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 36,33. Тираж 5000 экз. Свободная цена. Заказ SJLSA153/023. Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии «Издательство «Авторская Мастерская». Адрес типографии: ул. Пресненский Вал, д. 27 стр. 24, г. Москва, 123557 Россия.