

ISSN 2658-6649

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

www.discover-journal.ru



Volume 13, Number 2
2021

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

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

Volume 13, Number 2
2021

Главный редактор:

Дентовская С.В. – доктор медицинских наук, профессор, заведующая лабораторией микробиологии чумы (Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, пос. Оболенск, Серпуховский р-н, Московская обл., Российская Федерация)

Заместители главного редактора:

Медведев Л.Н. – доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры биофизики Института фундаментальной биологии и биотехнологии (ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Российская Федерация)

Оказова З.П. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности (ФГБОУ ВО «Чеченский государственный педагогический университет», Грозный, Российская Федерация)

Москаленко О.Л. – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории клинической патофизиологии (Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Красноярск, Российская Федерация)

Красноярск 2021

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 13, № 2, 2021

<p>Учредитель и издатель: ООО Научно-инновационный центр</p> <p>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.</p> <p>Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования (Перечень ВАК)</p> <p>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</p> <p>Адрес редакции, издателя и для корреспонденции: 660127, г. Красноярск, ул. 9 Мая, 5 к. 192 E-mail: editor@discover-journal.ru http://discover-journal.ru/</p> <p>Подписной индекс в каталоге Почты России «Подписные издания» – ПИ900</p>	<p>Founder and publisher: Science and Innovation Center Publishing House</p> <p>Founded 2008 Mass media registration certificate PI № FS 77 - 71726, issued November 30, 2017.</p> <p>Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture is included in the list of leading peer-reviewed scientific journals and editions, approved by the State Commission for Academic Degrees and Titles (the VAK) of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation</p> <p>Indexing and Abstracting: Scopus RSCI Ulrich's Periodicals Directory Cyberleninka Google Scholar VINITI Database RAS DOAJ BASE EBSCO WorldCat OpenAIRE IPRbooks Znanium Lan'</p> <p>Editorial Board Office: 9 Maya St., 5/192, Krasnoyarsk, 660127, Russian Federation E-mail: editor@discover-journal.ru http://discover-journal.ru/</p> <p>Subscription index in the 'The Russian Post' General catalog – PI900</p>
---	---

Свободная цена

© Научно-инновационный центр, 2021

Члены редакционной коллегии

Анисимов Андрей Павлович, доктор медицинских наук, профессор, заместитель директора по научной работе (Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, пос. Оболенск, Серпуховский р-н, Московская обл., Российская Федерация)

Балакирев Николай Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, профессор, проректор по науке и инновациям, зав. кафедрой мелкого животноводства (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина», Москва, Российская Федерация)

Батырбекова Светлана Есимбековна, доктор химических наук, ведущий научный сотрудник (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Республика Казахстан)

Буко Вячеслав Ульянович, доктор биологических наук, профессор, зав. отделом биохимической фармакологии (Институт биохимии биологически активных соединений АН Беларуси, Гродно, Республика Беларусь)

Глотов Александр Гаврилович, доктор ветеринарных наук, профессор, заведующий лабораторией биотехнологии, главный научный сотрудник (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Новосибирская область, пос. Краснообск, Российская Федерация)

Казакова Алия Сабировна, доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой агробиотехнологии (Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, Зерноград, Российская Федерация)

Козлов Василий Владимирович, кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры общественного здоровья и здравоохранения (Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация)

Лесовская Марина Игоревна, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры экономики и агробизнеса (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Красноярский государственный аграрный университет», Красноярск, Российская Федерация)

Лисняк Анатолий Анатольевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией лесного почвоведения

УкрНИИЛХА; доцент кафедры экологии и неозологии ХНУ (Украинский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г.Н. Высоцкого (УкрНИИЛХА); Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина (ХНУ), Харьков, Украина)

Манчук Валерий Тимофеевич, доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, научный руководитель института (Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Красноярск, Российская Федерация)

Мойсеёнок Андрей Георгиевич, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси, заведующий Отделом витаминологии и нутрицевтики ГП "Институт биохимии биологически активных соединений НАН Беларуси" (Гродно), главный научный сотрудник Отдела питания НПЦ НАН Беларуси по продовольствию (Минск) (Национальная академия наук Беларуси, Республика Беларусь)

Музурова Людмила Владимировна, доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры анатомии человека (Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского Министерства здравоохранения Российской Федерации, Саратов, Российская Федерация)

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

Никитюк Дмитрий Борисович, доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Российская Федерация)

Пуликов Анатолий Степанович, доктор медицинских наук, профессор, отличник здравоохранения РФ, главный научный сотрудник группы функциональной морфологии клинического отделения патологии пищеварительной системы у взрослых и детей (Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Красноярск, Российская Федерация)

Полунина Наталья Валентиновна, доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, заведующая кафедрой кафедр общественного здоровья и здравоохранения, экономики здравоохранения (федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова" Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Российская Федерация)

Поползухина Нина Алексеевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры экологии, природопользования и биологии, почетный работник сферы образования Российской Федерации, Почетный работник сферы образования Российской Федерации (ФГБОУ ВО Омский государственный аграрный университет им. П.А.Столыпина, Омск, Российская Федерация)

Рапопорт Жан Жозефович, доктор медицинских наук, профессор, отличник здравоохранения СССР, заслуженный изобретатель СССР, почетный профессор НИИ МПС; консультант (Больничная касса "Леумит", Хайфа, Израиль)

Рахимов Александр Имануилович, доктор химических наук, профессор, профессор по кафедре «Органическая химия» (Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Российская Федерация)

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

Родин Игорь Алексеевич, доктор ветеринарных наук, профессор, профессор кафедры анатомии, ветеринарного акушерства и хирургии (федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Краснодар, Российская Федерация)

Рожко Татьяна Владимировна, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры медицинской и биологической физики (Красноярский государственный медицинский университет им. В.Ф. Войно-Ясенецкого Министерства здравоохранения Российской Федерации, Красноярск, Российская Федерация)

Сетков Николай Александрович, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, международный научный центр исследования экстремальных состояний организма, профессор кафедры биофизики Института фундаментальной биологии и биотехнологии (Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Российская Федерация)

Смелик Виктор Александрович, доктор технических наук, профессор, директор научно-исследовательского института управления технологическими системами в АПК, заведующий кафедрой «Технические системы в агробизнесе» (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный аграрный университет", Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Смирнова Ольга Валентиновна, доктор медицинских наук, профессор, зав. лабораторией клинической патофизиологии НИИ МПС ФИЦ КНЦ СО РАН; профессор кафедры медицинской биологии Института фундаментальной биологии и биотехнологии СФУ; профессор кафедры внутренних болезней Медико-психолого-со-

циального института ХГУ (Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет», Хакасский государственный университет имени Н. Ф. Катанова, Красноярск, Российская Федерация)

Суханова Светлана Фаилевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, проректор по научной работе (федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева», Курганская обл., Кетовский р-н, с. Лесниково, Российская Федерация)

Терещенко Сергей Юрьевич, доктор медицинских наук, профессор, руководитель клинического отделения соматического и психического здоровья детей (Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Красноярск, Российская Федерация)

Тирранен Ляля Степановна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, международный научный центр исследования экстремальных состояний организма (Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Красноярск, Российская Федерация)

Тыщенко Елизавета Алексеевна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Товароведения и управление качеством» (Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, Кемерово, Российская Федерация)

Шелепов Виктор Григорьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией «Разработка продуктов для функционального питания человека и животных (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский федеральный научный центр агробιο-технологий Российской академии наук, Новосибирская область, Новосибирский район, р.п. Краснообск, Российская Федерация)

Шнайдер Наталья Алексеевна, доктор медицинских наук, профессор, в.н.с. отделения персонализированной психиатрии и неврологии (Национальный медицинский исследовательский центр психиатрии и неврологии им. В.М. Бехтерева, Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Editorial Board Members

Andrey Anisimov, Doctor of Medicine, Professor, Deputy Director for Science (Federal Service for Supervision in the Sphere of Customers Rights and Human Well-Being Federal State Institution of Science State Research Center for Applied Microbiology and Biotechnology, Obolensk, Moscow Region, Russian Federation)

Nikolai Balakirev, Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Pro-Rector for Science and Innovation, Head of the Department of Small Animal Husbandry (Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K.I. Skryabin, Moscow, Russian Federation)

Svetlana Batyrbekova, Doctor of Chemical Sciences, Senior Researcher (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan)

Vyacheslav Buko, Doctor of Biology, Professor, Head of the Department of Biochemical Pharmacology (Institute of Biochemistry of Biologically Active Compounds of the Academy of Sciences of Belarus, Grodno, Belarus)

Alexander Glotov, Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Biotechnology, Chief Scientific Officer (Scientific Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk Region, Krasnoobsk, Russian Federation)

Aliya Kazakova, Doctor of Biology, Professor, Head of Department of Agrobiotechnology (Azov-Black Sea State Agroengineering Academy, Zernograd, Russian Federation)

Vasilij Kozlov, Candidate of Medicine (Ph.D.), Associate Professor, Assistant Professor of Public Health and Health Care (I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russian Federation)

Marina Lesovskaya, Doctor of Biology, Professor, Professor of the Department 'Economics and Agribusiness' (Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russian Federation)

Anatoly Lisnyak, Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Senior Researcher, Head of the Laboratory of Forest Soil Science; Associate Professor of the Department of Ecology and Neoeology (Ukrainian Research Institute of Forestry and Agroforestry named after G.M. Vysotsky, Kharkiv National University of V.N. Karazin, Kharkiv, Ukraine)

Valery Manchuk, Doctor of Medicine, Professor, Corresponding Member of RAS, Scientific Director of the Institute (Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center») of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation)

Andrei Moiseenok, Doctor of Biology, Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Head of the Department of Vitaminology and Nutraceutical Technologies of the State Enterprise "Institute of Biochemistry of Biologically Active Compounds of the National Academy of Sciences of Belarus" (Grodno), Chief Researcher of the Nutrition Department of the National Center for Food of Belarus (Minsk) (The National Academy of Sciences of Belarus, Belarus)

Lyudmila Muzurova, Doctor of Medicine, Professor, Professor of the Department of Human Anatomy (Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Saratov, Russian Federation)

Aynash Nauanova, Doctor of Biology, Professor, Chief Researcher (S.Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Astana, Republic of Kazakhstan)

Dmitry Nikitjuk, Doctor of Medicine, Professor, Corresponding Member of RAS, Director (Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russian Federation)

Anatoly Pulikov, Doctor of Medicine, Professor, chief researcher group of the functional morphology of the clinical department of pathology of the digestive system in children and adults (Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center» of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation)

Natalya Polunina, Doctor of Medicine, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Public Health and Health Economics of the Russian Federation (Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russian Federation)

Nina Popolzukhina, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Ecology, Nature Management and Biology, Honorary Worker of Education of the Russian Federation, Honorary Worker of Education of the Russian Federation (Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russian Federation)

Jan Rapoport, Doctor of Medicine, Professor, Honored Worker of the USSR Public Health, Honored Inventor of the USSR, Honorary Professor of the Research Institute of the Ministry of Railways; Consultant (Health Insurance Fund "Leumit", Haifa, Israel)

Aleksandr Rakhimov, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Professor of the Department of Organic Chemistry (Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation)

Nadezhda Rakhimova, Doctor of Chemical Sciences, Professor (Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation)

Igor Rodin, Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Professor of the Department of Anatomy, Veterinary Obstetrics and Surgery (Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation)

Tatiana Rozhko, Candidate of Biology (Ph.D.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Medical and Biological Physics (Krasnoyarsk State Medical University, Krasnoyarsk, Russian Federation)

Nikolay Setkov, Doctor of Biology, Professor, Chief Researcher, International Research Center Study of Extreme States of the Body, Professor of the Department of Biophysics, Institute of Basic Biology and Biotechnology (Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation)

Viktor Smelik, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Research Institute of Management of Technological Systems in the Agroindustrial Complex, Head of the Department "Technical Systems in Agribusiness" (St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg, Russian Federation)

Olga Smirnova, Doctor of Medicine, Professor, Head of the Laboratory of Clinical Pathophysiology; Professor of the Department of Medical Biology of the Institute of Fundamental Biology and Biotechnology; Professor of the Department of Internal Medicine of the Medical-Psychological-Social Institute (Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center» of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; Siberian Federal University; Khakass State University named after N.F. Katanov, Krasnoyarsk, Russian Federation)

Svetlana Sukhanova, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Vice-Rector (Kurgan State Agricultural Academy by T.S. Maltsev, Kurgan region, Ketovsky district, Leshnikovo village, Russian Federation)

Sergey Tereshchenko, Doctor of Medicine, Professor, Head of the Clinical Department of Physical and Mental Health of Children (Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center» of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation)

Lyalya Tirranen, Doctor of Biology, Leading Researcher, International Research Center Study of Extreme States of the Body (Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation)

Elizaveta Tyshchenko, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Commodity and quality management (Kemerovo Institute of Food Science and Technology, Kemerovo, Russian Federation)

Viktor Shelepov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Laboratory "Development of Products

for Functional Nutrition of Humans and Animals" (Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnology, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk Region, Krasnoobsk, Russian Federation)

Natalya Shnaider, Doctor of Medicine, Professor, Leading Researcher, Department of Personalized Psychiatry and Neurology (V.M. Bekhterev National Research Medical Centre for Psychiatry and Neurology, St. Petersburg, Russian Federation)

КАРДИОЛОГИЯ. СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ

CARDIOLOGY AND CARDIOVASCULAR MEDICINE

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-11-31

УДК 611.061.1

ОСОБЕННОСТИ ГЕМОДИНАМИКИ В СТРУКТУРНО-РАЗЛИЧНЫХ ВНУТРИОРГАННЫХ АРТЕРИАЛЬНЫХ БИФУРКАЦИЯХ СЕРДЦА ЧЕЛОВЕКА, ВЫЯВЛЯЕМЫЕ С ПОМОЩЬЮ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

О.К. Зенин, В.С. Оверко, А.В. Дмитриев, И.С. Милтых

Цель. Путём численного моделирования проверить предположение о связи между типом дихотомии и особенностями движения крови в структурно-различных бифуркациях внутриорганный артериального русла сердца человека.

Материал и методы. Использовали результаты морфометрии реального артериального русла сердца. Для моделирования нестационарного ламинарного течения применяли решение полной системы уравнений Навье-Стокса, полученное с помощью неявной разностной схемы в пакете ANSYS.

Результаты. Установлено: дихотомия (бифуркация) первого типа (полная асимметрия) увеличивает интенсивность флуктуаций расхода и максимальную скорость потока, а также уменьшает динамическую вязкость крови в большей ветви. В меньшей ветви формируется квазистационарное течение. Дихотомия (бифуркация) второго типа (боковая асимметрия) уменьшает максимум скорости потока и значение динамической вязкости во всех ветвях.

Дихотомия (бифуркация) третьего типа (односторонняя симметрия) увеличивает максимум скорости потока и уменьшает динамическую вязкость. Дихотомия (бифуркация) четвертого типа (полная симметрия) уменьшает максимум скорости потока, деформирует профиль скорости и значительно увеличивает вязкость крови. Более того зона с увеличенной вязкостью распространяется из ядра потока практически на всю область течения.

Выводы. Результаты моделирования позволяют утверждать о разной функциональной роли артериальных дихотомий (бифуркаций) структурно-различных типов. После прохождения различных типов дихотомий (бифуркаций) поток крови приобретает унифицированные свойства, необходимые для течения в гемомикроциркуляторном участке русла. Выявленные особенности необходимо учитывать при численном моделировании структуры внутриорганичного артериального русла сердца человека и внутриартериальной гемодинамики.

Ключевые слова: численное моделирование; гемодинамика; внутриорганичное артериальное русло сердца; структурно-различные дихотомии (бифуркации)

Для цитирования: Зенин О.К., Оверко В.С., Дмитриев А.В., Милтых И.С. Особенности гемодинамики в структурно-различных внутриорганичных артериальных бифуркациях сердца человека, выявляемые с помощью численного моделирования // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 2. С. 11-31. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-11-31

HEMODYNAMIC FEATURES IN A STRUCTURALLY DIFFERENT ARTERIAL INTRAORGANIC BIFURCATIONS OF THE HUMAN HEART BY NUMERICAL MODELING

O.K. Zenin, V.S. Overko, A.V. Dmitriev, I.S. Milytkh

Aim. Check the hypothesis about the connection between the type of dichotomy and the peculiarities of blood movement in structurally different bifurcations of the intraorgan arterial bed of the human heart using numerical modeling.

Materials and methods. The results of morphometry of the real arterial bed of the heart were used. To simulate unsteady laminar flow, we used the solution of the complete system of Navier-Stokes's equations, obtained using an implicit difference scheme in the ANSYS package.

Results. *It was found that dichotomy (bifurcation) of the first type (complete asymmetry) increases the intensity of flow rate fluctuations and the maximum flow rate and decreases the dynamic viscosity of blood in the larger branch. A quasi-stationary flow is formed in the smaller branch. Dichotomy (bifurcation) of the second type (lateral asymmetry) reduces the maximum flow rate and the value of dynamic viscosity in all branches. Dichotomy (bifurcation) of the third type (unilateral symmetry) increases the maximum flow rate and decreases the dynamic viscosity. Dichotomy (bifurcation) of the fourth type (complete symmetry) reduces the maximum flow velocity, deforms the velocity profile, and significantly increases blood viscosity. Moreover, the zone with increased viscosity extends from the flow core to almost the entire flow area.*

Conclusion. *The simulation results allow us to assert a different functional role of arterial dichotomies (bifurcations) of structurally different types. After passing through various types of dichotomies (bifurcations), the blood flow acquires unified properties necessary for the flow in the hemomicrocirculatory section of the bed. The revealed features must be considered in the numerical modeling of the structure of the intraorgan arterial bed of the human heart and intra-arterial hemodynamics.*

Keywords: *numerical modelling; hemodynamics; intraorganic arterial bed of the heart; structurally different dichotomies*

For citation. *Zenin O.K., Overko V.S., Dmitriev A.V., Milykh I.S. Hemodynamic features in a structurally different arterial intraorganic bifurcations of the human heart by numerical modeling. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 11-31. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-11-31*

Список сокращений:

D – внутренних диаметр материнского сегмента, d_{\max} – внутренний диаметр большего дочернего сегмента, d_{\min} – внутренний диаметр меньшего дочернего сегмента, L – длина материнского сегмента, l_{\max} – длина большего дочернего сегмента, l_{\min} – длина меньшего дочернего сегмента.

Введение

В соответствии с дихотомической (бифуркационной) моделью строения артериального русла сердца, его структурно-функциональной единицей является дихотомия (бифуркация). Это конструкция, состоящая из материнского сегмента и двух дочерних артериальных сегментов [1, 3].

Впервые проблема функциональной анатомии артериальных разветвлений (бифуркаций, дихотомий) была сформулирована в 1878 году в докторской диссертации немецкого анатома и эмбриолога Вильгельма

Ру [26]. На основании своих наблюдений он пришел к выводу, что форма разветвления (дихотомии) похожа на форму струи жидкости, вытекающей из отверстия трубки. Для объяснения этого явления автор предложил гипотезу о том, что конструкция кровеносной системы отвечает принципу минимальных затрат биологического материала, израсходованного на ее построение, и принципу минимальных энергетических затрат, необходимых для продвижения по ней крови. При этом артериальные дихотомии принимают конфигурации, которые для данных условий являются самыми лучшими, т.е. оптимальными. Cecil Murray исследовал кровеносные сосуды, а в 1926 году изложил результаты в виде математических формул – «Murray's law» [19, 20]. В современной научной литературе представлено большое количество работ, которые как подтверждают [6, 18], так и указывают на неполное соответствие теории (Murray's law) результатам морфометрии реальных артериальных русел [12, 14, 15, 17, 24, 25, 28]. Появились работы, в которых данное правило используется для численного моделирования структуры артериальных русел, представления их в качестве фрактальных конструкций [7, 23].

На основании этого моделирования делаются выводы о внутриартериальной гемодинамике жизненно важных органов человека [10, 13].

В работах [2, 4, 5] убедительно показано наличие 4-х структурно-различных типов дихотомий (бифуркаций), составляющих внутриорганный артериальный русло сердца. А именно: 1) полная асимметрия – величины диаметров сегментов (D, d_{\max}, d_{\min}), которые составляют дихотомию, не равны между собой, 2) боковая асимметрия – величина диаметра материнского сегмента (D) равна значению диаметра большего из дочерних сегментов (d_{\max}), 3) односторонняя симметрия – величины диаметров дочерних сегментов (d_{\max}, d_{\min}) равны между собой и не равны значению диаметра материнского сегмента, 4) полная симметрия – величины диаметров всех сегментов (D, d_{\max}, d_{\min}) равны между собой. Кроме того, было сделано допущение о различной функциональной роли отдельных участков артериального русла и особенно артериальных дихотомий (бифуркаций). Литературных данных, подтверждающих или опровергающих эту гипотезу, обнаружить не удалось.

Цель работы: путём численного моделирования проверить предположение о связи между типом дихотомии и особенностями движения крови в структурно-различных бифуркациях внутриорганного артериального русла сердца человека.

Материалы и методы

Задача решалась в нестационарной трехмерной постановке, стенки артерий считались неупругими, что позволило избежать использования ресурсоемких алгоритмов взаимодействия жидкости с упругими стенками артериальных сегментов. Данное приближение использовано в соответствии с результатами работ [9, 26] которые показали, что величины сдвиговых напряжений на стенке качественно и количественно практически не отличаются у моделей использующих приближение твёрдых стенок и упругих стенок. Кровь считалась неньютоновской жидкостью с плотностью 1060 кг/м^3 и динамической вязкостью, изменяющейся согласно модели Карро [11, 23].

Зависимость динамической вязкости от сдвиговых напряжений в этой модели описывается следующей формулой [22]:

$$\mu = \mu_{\infty} + (\mu_0 - \mu_{\infty})(1 + (\lambda\dot{\gamma})^2)^{\alpha} \quad (1)$$

где $\mu_{\infty} = 0.0056 \text{ Па} \cdot \text{с}$, динамическая вязкость в условии отсутствия сдвиговых напряжений, $\mu_0 = 0.0036 \text{ Па} \cdot \text{с}$, динамическая вязкость в условии максимальных сдвиговых напряжений, $\lambda = 3.313$, $\alpha = 0.3568$.

Для моделирования нестационарного ламинарного течения использовалось решение полной системы уравнений Навье–Стокса, полученное с помощью неявной разностной схемы в пакете ANSYS. Давление определялось по стандартной схеме, для определения скоростей использовалась схема с разностями против потока второго порядка точности. Что касается взаимосвязи между расчетами скоростей и давления, то для моделирования была использована схема PISO [16]. Временной шаг постоянный и равен 1 мс.

Система расчетных уравнений имеет вид:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial y} + v \frac{\partial u}{\partial z} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial z} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial y} + v \frac{\partial w}{\partial z} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (5)$$

На входной границе расчетной области был использован параболический профиль скорости, соответствующий объемному кровотоку на данном уровне ветвления артериальной системы в течение кардиального

цикла. Рассчитывались два кардиальных цикла, результаты взяты для второго, так как различия значительны между результатами моделирования для первого и второго циклов, между вторым и последующими пренебрежимо малы. Данное допущение базировалось на проделанном нами тестовом расчете неньютоновского течения крови в прямой трубке для трех кардиальных циклов. На выходе расчетной области задавалось фоновое давление, равное 0 Па. Для корректного моделирования возвратного течения был использован метод «коррекции по ближайшим ячейкам» [8]. На стенках сосуда задавались условия прилипания.

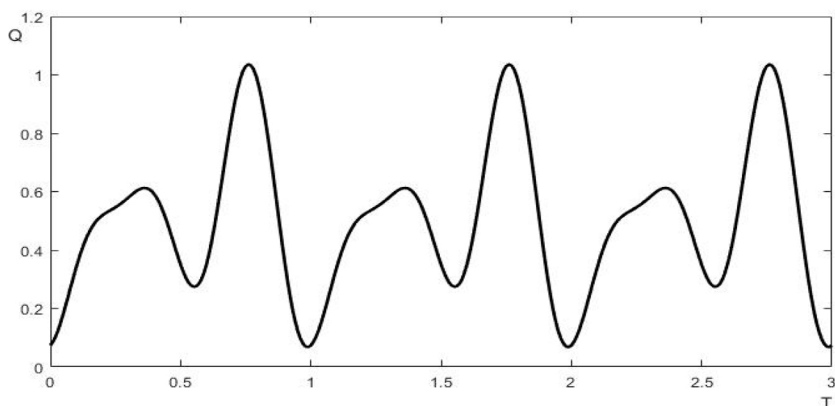


Рис. 1. Кривая зависимости безразмерного расхода (Q) от безразмерного времени (T)

В качестве морфометрических характеристик структурно-различных дихотомий (бифуркаций) внутриорганного артериального русла сердца использовали данные, приведенные в работе [5] (табл. 1).

Таблица 1.

Морфометрические характеристики структурно-различных типов дихотомий внутриорганного артериального русла сердца человека

Морфометрические характеристики, мм	Величины морфометрических характеристик дихотомий структурно-различных типов			
	Дихотомия тип 1 (X)	Дихотомия тип 2 (X)	Дихотомия тип 3 (X)	Дихотомия тип 4 (X)
D	0,8	0,73	0,48	0,72
d _{max}	0,64	0,73	0,32	0,72

Окончание табл. 1.

d_{\min}	0,38	0,44	0,32	0,72
L	4	3,65	3,57	9
l_{\max}	3	3,65	2,38	9
l_{\min}	2	1,75	2,38	9

Примечания: D – внутренних диаметр материнского сегмента, d_{\max} – внутренний диаметр большего дочернего сегмента, d_{\min} – внутренний диаметр меньшего дочернего сегмента, L –длина материнского сегмента, l_{\max} – длина большего дочернего сегмента, l_{\min} – длина меньшего дочернего сегмента.

Величины углов между артериальными сегментами, составляющими дихотомию, рассчитывали, используя уравнения Мургау С.Д. [21]. Для создания виртуальной геометрии и построения расчетной сетки были использованы средства пакета ANSYS.

Результаты

Результаты компьютерного эксперимента представлены на рис. 2, 3, 4, 5. Анализ результатов показал, что течение в первом типе артериальных дихотомий (бифуркаций) характеризуется увеличением максимальной скорости в большей по диаметру дочерней ветви (d_{\max}) и уменьшением скорости в меньшей ветви (d_{\min}) (рис. 2 а, b, c, d).

Кроме того, поле скорости в меньшей ветви (d_{\min}) характеризуется незначительными изменениями в разные периоды кардиального цикла, в отличие от родительского сосуда (D) и большей ветви (d_{\max}). Неньютоновские свойства в дихотомии этого типа меняются следующим образом. Как в большей (d_{\max}), так и в меньшей (d_{\min}) ветви вязкость крови в ядре потока уменьшается за счет увеличения деформации профиля скорости и соответственного увеличения сдвиговых напряжений (рис. 2 е, f).

Результаты моделирования тока в дихотомиях (бифуркациях) второго типа (боковая асимметрия) приведены на рис. 3 а, b, c, d, е, f. Как следует из приведенного, максимум скорости в большей дочерней ветви (d_{\max}) существенно ниже максимума скорости в родительской ветви (D). Поле скорости в меньшей ветви (d_{\min}) испытывает значительные колебания в течение кардиального цикла (рис. 3 а, b, c, d). После прохождения потоком крови дихотомии (бифуркации) второго типа (боковая асимметрия) неньютоновские свойства крови изменяются незначительно. Динамическая вязкость увеличивается в большей дочерней ветви (d_{\max}) и уменьшается в меньшей дочерней ветви (d_{\min}) (рис. 2 е, f).

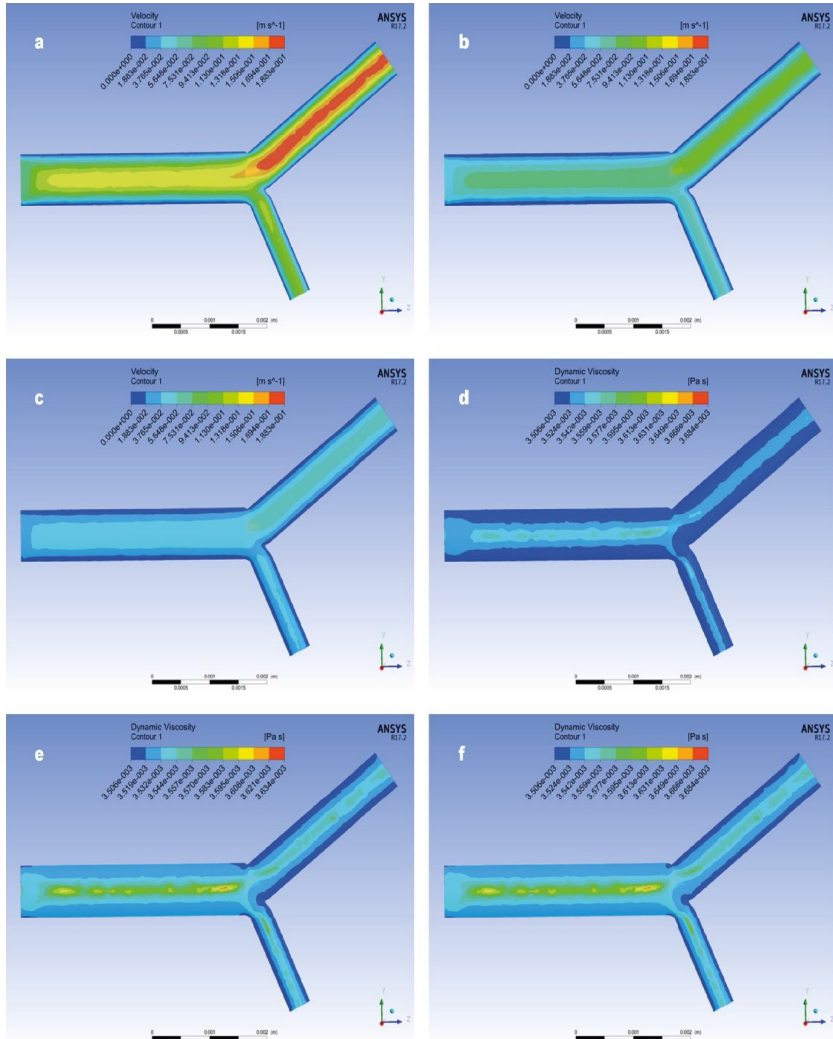


Рис. 2. Результаты моделирования течения в дихотомиях (бифуркациях) тип 1 (полная асимметрия): а – поле скорости, систолический максимум, б – поле скорости, диастолический максимум, с – поле скорости, диастолический минимум, д – динамическая вязкость, систолический максимум, е – динамическая вязкость, диастолический максимум, ф – динамическая вязкость, диастолический минимум.

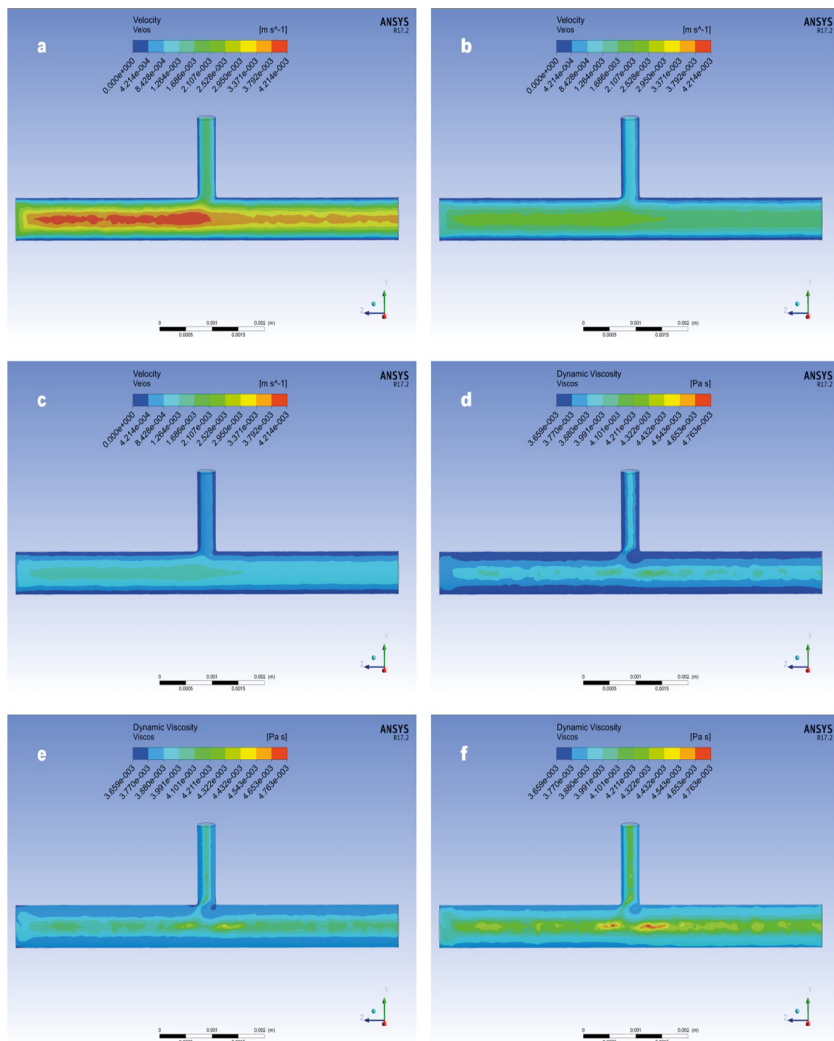


Рис. 3. Результаты моделирования течения в дихотомиях (бифуркациях) тип 2 (боковая асимметрия): а – поле скорости, систолический максимум, б – поле скорости, диастолический максимум, с – поле скорости, диастолический минимум, д – динамическая вязкость, систолический максимум, е – динамическая вязкость, диастолический максимум, ф – динамическая вязкость, диастолический минимум

Течение в третьем типе артериальных дихотомий (бифуркаций) (односторонняя симметрия) характеризуется увеличением максимальной скорости в дочерних ветвях (рис. 4 а, b, с, d, e, f).

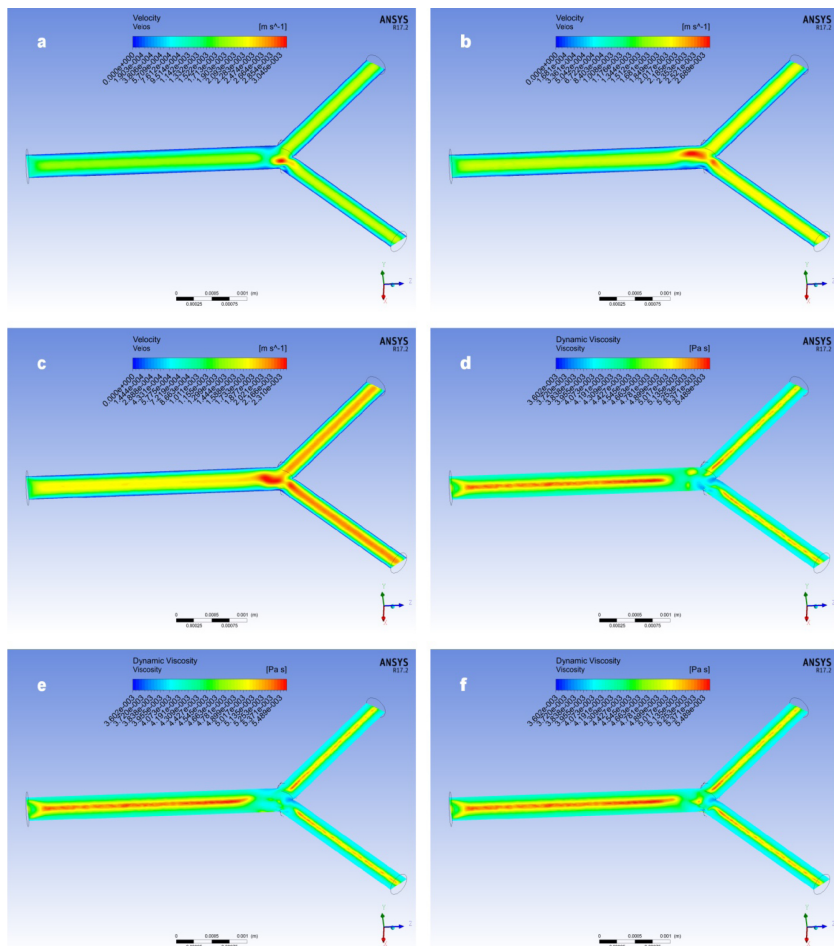


Рис. 4. Результаты моделирования течения в дихотомиях (бифуркациях) тип 3 (односторонняя симметрия): а – поле скорости, систолический максимум, б – поле скорости, диастолический максимум, с – поле скорости, диастолический минимум, d – динамическая вязкость, систолический максимум, e – динамическая вязкость, диастолический максимум, f – динамическая вязкость, диастолический минимум.

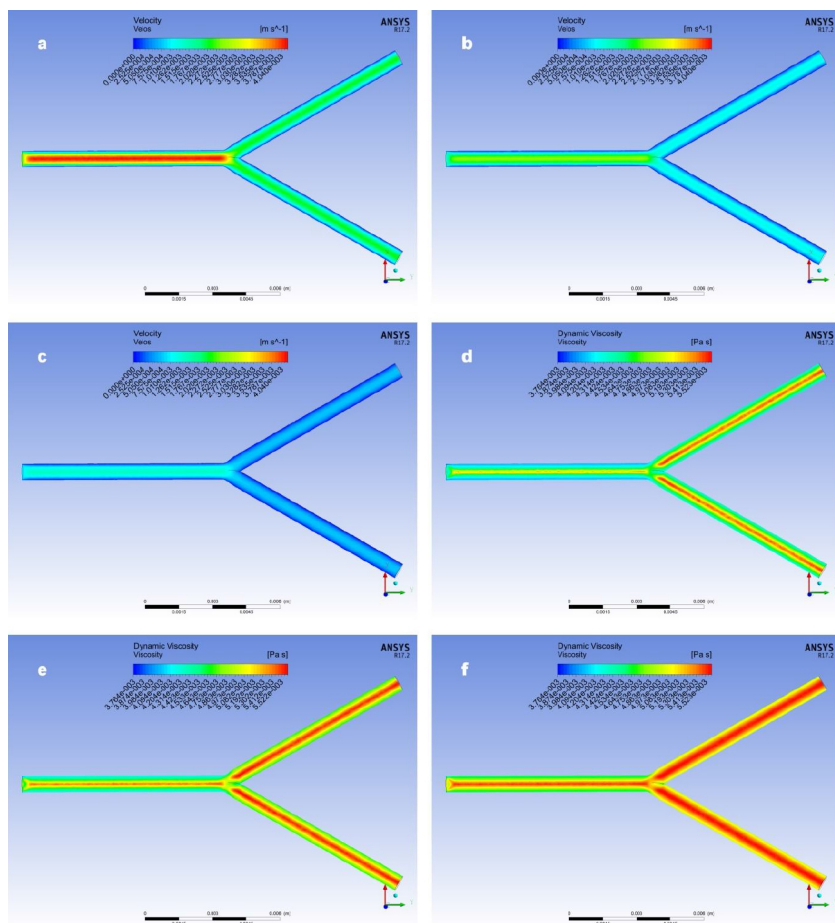


Рис. 5. Результаты моделирования течения в дихотомиях (бифуркациях) тип 4 (полная симметрия): а – поле скорости, систолический максимум, б – поле скорости, диастолический максимум, с – поле скорости, диастолический минимум, д – динамическая вязкость, систолический максимум, е – динамическая вязкость, диастолический максимум, ф – динамическая вязкость, диастолический минимум.

В области перед разветвлением заметно вихреобразование в фазе систолы. В диастолической фазе профиль скорости становится менее заполненным, с более выраженным максимумом на оси. Появляются зоны с

повышенной вязкостью на оси сосудов. Непосредственно в точке деления материнского сегмента сосуда сдвиговые напряжения значительно увеличиваются. В течение кардиального цикла колебания вязкости в целом незначительны для прямолинейных участков как родительского (D), так и дочерних сосудов (d_{\max} , d_{\min}).

Течение в четвёртом типе артериальных дихотомий (бифуркаций) (полная симметрия) характеризуется значительным уменьшением скорости в дочерних ветвях по сравнению с родительским сосудом, а также уплощением профиля скорости в поперечном сечении сосуда (рис. 5 a, b, c, d, e, f.). Также профиль скорости становится более заполненным, отрывная зона не возникает.

Обсуждение

По данным литературы, убедительно показано наличие четырех структурно-различных типов дихотомий (бифуркаций), составляющих артериальное русло сердца [2, 5]. Более того, было сделано допущение об их различной функциональной роли [4]. Однако данных, подтверждающих или опровергающих эту гипотезу, обнаружить не удалось. Поэтому исследование преследовало цель путём численного моделирования проверить предположение о связи между типом дихотомии и особенностями движения крови в структурно-различных бифуркациях внутриоргана артериального русла сердца человека. Реальная геометрия использовалась для того, чтобы минимизировать влияние индивидуальной анатомической вариабельности. Использование приближения неньютоновской жидкости позволяет получить распределение сдвиговых напряжений, полей скорости и давления, которые позволяют более достоверно анализировать процессы, происходящие в структурно-различных артериальных дихотомиях (бифуркациях).

Численное моделирование тока крови в дихотомиях (бифуркациях) 1-го типа (полная асимметрия) показало, что прохождение потока крови через дихотомию первого типа усиливает флуктуации расхода и увеличивает максимальную скорость в большей ветви (d_{\max}) и формирует практически стационарное течение в меньшей ветви (d_{\min}). Вязкость крови в ядре потока, как в большей (d_{\max}), так и в меньшей (d_{\min}) ветви уменьшается за счет увеличения деформации профиля скорости и увеличения сдвиговых напряжений. Таким образом, дихотомия (бифуркация) первого типа (полная асимметрия) увеличивает интенсивность флуктуаций расхода и максимальную скорость потока, а также уменьшает динамическую вязкость

крови в течение кардиального цикла в большей ветви. В меньшей ветви формируется квазистационарное течение.

Картина течения в дихотомиях (бифуркациях) второго типа (боковая асимметрия) демонстрирует, что, несмотря на некоторое структурное сходство второго типа дихотомий (бифуркаций) с первым типом (полная асимметрия), картины течения существенно отличаются. В частности, максимум скорости в большей дочерней ветви (d_{\max}) заметно ниже максимума скорости в родительской ветви (D). Поле скорости в меньшей ветви (d_{\min}) значительно изменяется в течение кардиального цикла, чего не наблюдается в дихотомиях (бифуркациях) первого типа (полная асимметрия). Неньютоновские свойства крови изменяются несущественно после прохождения потоком крови дихотомии (бифуркации) второго типа (боковая асимметрия). Динамическая вязкость увеличивается в большей дочерней ветви (d_{\max}) и уменьшается в меньшей дочерней ветви (d_{\min}). Таким образом, дихотомия (бифуркация) второго типа (боковая асимметрия) уменьшает максимум скорости потока и значение динамической вязкости во всех ветвях.

Результаты моделирования тока крови в третьем типе артериальных дихотомий (бифуркаций) (односторонняя симметрия) убедительно свидетельствуют об увеличении максимальной скорости в дочерних ветвях. В фазе систолы явно проявляется эффект возникновения отрывной зоны. Также нужно отметить, что в диастолической фазе профиль скорости становится менее заполненным, с более выраженным максимумом на оси, это является причиной увеличения сдвиговых напряжений и оказывает влияние на изменение вязкости крови. Наличие областей с низкими сдвиговыми напряжениями на оси потока приводит к возникновению зон с повышенной вязкостью на оси сосудов. В точке разветвления сдвиговые напряжения значительно увеличиваются из-за поворота потока, как следствие этого динамическая вязкость крови уменьшается. В течение кардиального цикла колебания вязкости в целом незначительны для прямолинейных участков как родительского (D), так и дочерних сегментов (d_{\max} , d_{\min}). Однако структура поля вязкости претерпевает значительные изменения, если в материнском сосуде зона с повышенной вязкостью занимает половину диаметра, то уже в дочерних ветвях не более четверти. Кроме того, в фазе диастолического минимума в зоне разветвления возникает область с локально увеличенной динамической вязкостью, что облегчает разделение потока в последующей систолической фазе кардиального цикла. Следовательно, дихотомии (бифуркации) третьего типа (односто-

ронняя симметрия) увеличивают скорость потока и деформируют его профиль таким образом, что сдвиговые напряжения возрастают, что в свою очередь приводит к уменьшению вязкости не только в пристеночной области, но и в ближайшей к стенке области ядра потока. Возникающие при этом силы, вероятно, способствуют концентрации форменных элементов крови вблизи оси сосуда.

Анализ результатов моделирования течения крови в четвертом типе артериальных дихотомий (бифуркаций) (полная симметрия) убедительно демонстрирует значительное уменьшение скорости в дочерних ветвях по сравнению с родительским сосудом, а также уплощение профиля скорости в поперечном сечении сосуда. Профиль скорости становится более заполненным. В отличие от течения крови в третьем типе дихотомий (односторонняя симметрия) отрывная зона не возникает. Уплощение профиля скорости приводит к уменьшению сдвиговых напряжений в ядре потока, что в свою очередь способствует увеличению динамической вязкости потока крови в дочерних ветвях этой дихотомии. Таким образом, дихотомия (бифуркация) четвертого типа (полная симметрия) уменьшает максимум скорости потока, деформирует профиль скорости и значительно увеличивает вязкость крови. Более того зона с увеличенной вязкостью распространяется из ядра потока практически на всю область течения.

Заключение

Результаты численного моделирования течения крови в структурно-различных типах артериальных дихотомий внутриорганный русла сердца человека, позволяют утверждать об их различной функциональной роли.

Первый тип дихотомий (бифуркаций) увеличивает скорость течения в большей дочерней ветви и уменьшает вязкость крови. В меньшей же ветви флуктуации скорости и давления в течение кардиального цикла нивелируются настолько, что формируется квазистационарное течение. Второй тип дихотомий (бифуркаций) уменьшает как скорость, так и вязкость потока крови в обеих дочерних ветвях. Третий тип дихотомий (бифуркаций) увеличивает скорости течения в обеих дочерних ветвях и существенно увеличивает пристеночную зону с пониженной вязкостью. Вследствие этого возникает эффект «шнурования» форменных элементов крови вблизи оси сосуда. Четвертый тип дихотомий (бифуркаций) уменьшает скорость течения и увеличивает вязкость в обеих дочерних ветвях.

Можно предположить, что после последовательного прохождения крови через различные типы дихотомий (бифуркаций) ее поток приобретает

унифицированные свойства, необходимые для течения в гемомикроциркуляторном участке русла.

Выявленные особенности необходимо учитывать при численном моделировании структуры внутриорганный артериального русла сердца человека и внутриартериальной гемодинамики.

Информация о конфликте интересов. Отсутствие конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Проект реализуется при поддержке гранта Фонда содействия развитию институтов гражданского общества в ПФО.

Список литературы

1. Гурьянов В.Г. Математический анализ пределов применимости «Правила Ру» для структурно-различных типов артериальных дихотомий / В.Г. Гурьянов, Ю.В. Довгялло, О.К. Зенин // Украинский морфологический альманах. 2005. Т. 3, № 4. С. 26-27.
2. Дмитриев А.В. Морфометрические особенности дихотомий внутриорганный артериального русла сердца человека // Вестник неотложной и восстановительной медицины. 2008. Т. 9, № 1. С. 32-36.
3. Дмитриев А.В. Концептуальные модели древовидного артериального русла / А.В. Дмитриев, О.К. Зенин, Ю.В. Довгялло // Вестник неотложной и восстановительной медицины. 2007. Т. 8, № 2. С. 297-302.
4. Зенин О.К. Исследование закономерностей строения русла коронарных артерий человека / О.К. Зенин, Н.Н. Кизилова, Е.Н. Филиппова // Биофизика. 2007. Т. 52, № 5. С. 924-930.
5. Штутін, О.А. Морфометрична характеристика дихотомій внутріорганного артеріального русла серця людини / О.А. Штутін, А.В. Дмитрієв, О.К. Зенін // Таврический медико-биологический вестник. 2006. Т. 9, № 3. С. 190-193.
6. Angle matching in intravascular elastography / C.R.M. Janssen [et al.] // Ultrasonics, 2000, vol. 38, no. 1-8, pp. 417-423. http://homepage.tudelft.nl/t4n4v/4_Journals/Ultrasonics/Ultr_00.pdf
7. Beek, J.H. Van. Regional myocardial flow heterogeneity explained with fractal networks / J.H. Van Beek, S.A. Roger, J.B. Bassingthwaight // American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology, 1989, vol. 257, no. 5, pp. H1670-H1680. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.1989.257.5.H1670>
8. Bell, J.B. Second-Order Projection Method for the Incompressible Navier-Stokes Equations / J.B. Bell, P. Colella, H.M. Glaz // Journal of Computational

- Physics, 1989, vol. 85, no. 2, pp. 257-283. [https://doi.org/10.1016/0021-9991\(89\)90151-4](https://doi.org/10.1016/0021-9991(89)90151-4)
9. Blood flow in arterial segments: Rigid vs. deformable walls simulations / K. Stefanou [et al.] // *Journal of Serbian Society for Computational Mechanics*, 2011, vol. 5, no. 1, pp. 69-77. http://www.sscm.kg.ac.rs/jsscsm/downloads/Vol5No1/Vol5No1_paper6.pdf
 10. Blood vessel segmentation algorithms – Review of methods, datasets and evaluation metrics / S. Moccia [et al.] // *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 2018, vol. 158, pp. 71-91. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2018.02.001>
 11. Computational fluid dynamic simulation of human carotid artery bifurcation based on anatomy and volumetric blood flow rate measured with magnetic resonance imaging / H. Gharahi [et al.] // *International Journal of Advances in Engineering Sciences and Applied Mathematics*, 2016, vol. 8, no. 1, pp. 46-60. <https://doi.org/10.1007/s12572-016-0161-6>
 12. Extension of Murray's law using a non-Newtonian model of blood flow / R. Revellin [et al.] // *Theoretical Biology and Medical Modelling*, 2009, vol. 6, no. 1, article number: 7. <https://doi.org/10.1186/1742-4682-6-7>
 13. Fredrich, T. Dynamic vessel adaptation in synthetic arteriovenous networks / T. Fredrich, M. Welter, H. Rieger // *Journal of Theoretical Biology*, 2019, vol. 483, 109989. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2019.109989>
 14. Greenwald, S.E. Improving vascular grafts: the importance of mechanical and haemodynamic properties / S.E. Greenwald, C.L. Berry // *The Journal of Pathology*, 2000, vol. 190, no. 3, pp. 292-299. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1096-9896\(200002\)190:3%3C292::aid-path528%3E3.0.co;2-s](https://doi.org/10.1002/(sici)1096-9896(200002)190:3%3C292::aid-path528%3E3.0.co;2-s)
 15. Hagmeijer, R. Critical review of Murray's theory for optimal branching in fluidic networks / R. Hagmeijer, C.H. Venner // *arXiv*, 2018. <https://arxiv.org/abs/1812.09706>
 16. Issa, R. Solution of the implicitly discretised fluid flow equations by operator-splitting // *Journal of Computational Physics*, 1986, vol. 62, no. 1, pp. 40-65. [https://doi.org/10.1016/0021-9991\(86\)90099-9](https://doi.org/10.1016/0021-9991(86)90099-9)
 17. Limited Bifurcation Asymmetry in Coronary Arterial Tree Models Generated by Constrained Constructive Optimization / W. Schreiner [et al.] // *Journal of General Physiology*, 1997, vol. 109, no. 2, pp. 129-140. <https://doi.org/10.1085/jgp.109.2.129>
 18. Morphometry of the human pulmonary vasculature / W. Huang [et al.] // *Journal of Applied Physiology*, 1996, vol. 81, no. 5, pp. 2123-2133. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.81.5.2123>
 19. Murray, C.D. The Physiological Principle of Minimum Work: I. The Vascular System and the Cost of Blood Volume // *Proceedings of the National Academy*

- of Sciences, 1926, vol. 12, no. 3, pp. 207-214. <https://doi.org/10.1073/pnas.12.3.207>
20. Murray, C.D. The Physiological Principle of Minimum Work: II. Oxygen Exchange in Capillaries // Proceedings of the National Academy of Sciences, 1926, vol. 12, no. 5, pp. 299-304. <https://doi.org/10.1073/pnas.12.5.299>
 21. Murray, C.D. The physiological principle of minimum work applied to the angle of branching of arteries // Journal of General Physiology, 1926, vol. 9, no. 6, pp. 835-841. <https://doi.org/10.1085/jgp.9.6.835>
 22. Non-Newtonian blood flow in human right coronary arteries: Steady state simulations / B.M. Johnston [et al.] // Journal of Biomechanics, 2004, vol. 37, no. 5, pp. 709-720. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2003.09.016>
 23. Olufsen M.S. A One-Dimensional Fluid Dynamic Model of the Systemic Arteries / Fauci L.J., Gueron S. (eds) // Computational Modeling in Biological Fluid Dynamics. The IMA Volumes in Mathematics and its Applications, 2001, vol. 124, pp. 167-187. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0151-6_9
 24. Pollanen, M.S. Dimensional optimization at different levels of the arterial hierarchy // Journal of Theoretical Biology, 1992, vol. 159, no. 2, pp. 267-270. [https://doi.org/10.1016/s0022-5193\(05\)80706-4](https://doi.org/10.1016/s0022-5193(05)80706-4)
 25. Pries, A.R. Design Principles of Vascular Beds / A.R. Pries, T.W. Secomb, P. Gaehtgens // Circulation Research, 1995, vol. 77, no. 5, pp. 1017-1023. <https://doi.org/10.1161/01.res.77.5.1017>
 26. Roux, W. Ueber die Verzweigungen der Blutgefäße. Eine morphologische Studie // Z. Naturwissenschaft, 1878, vol. 12, pp. 205-266.
 27. Shibeshi, S.S. The rheology of blood flow in a branched arterial system / S.S. Shibeshi, W.E. Collins // Applied Rheology, 2005, vol. 15, no. 6, pp. 398-405. <https://doi.org/10.1515/arh-2005-0020>
 28. The branching angles in computer-generated optimized models of arterial trees / W. Schreiner [et al.] // Journal of General Physiology, 1994, vol. 103, no. 6, pp. 975-989. <https://doi.org/10.1085/jgp.103.6.975>

References

1. Guryanov V.G., Dovgyallo Yu.V., Zenin O.K. *Ukrainskiy morfologicheskii al'manakh*, 2005, vol. 3, no. 4, pp. 26-27.
2. Dmitriev A.V. *Vestnik neotlozhnoy i vosstanovitel'noy meditsiny*, 2008, vol. 9, no. 1, pp. 32-36.
3. Dmitriev A.V., Zenin O.K., Dovgyallo Yu.V. *Vestnik neotlozhnoy i vosstanovitel'noy meditsiny*, 2007, vol. 8, no. 2, pp. 297-302.

4. Zenin O.K., Kizilova N.N., Filippova E.N. *Biofizika*, 2007, vol. 52, no. 5, pp. 924-930.
5. Shtutin O.A., Dmitriev A.V., Zenin O.K. *Tavricheskiy mediko-biologicheskiy vestnik*, 2006, vol. 9, no. 3, pp. 190-193.
6. Janssen C.R.M. et al. Angle matching in intravascular elastography. *Ultrasonics*, 2000, vol. 38, no. 1-8, pp. 417-423. http://homepage.tudelft.nl/t4n4v/4_Journals/Ultrasonics/Ultr_00.pdf
7. Van Beek J.H., Roger S.A., Bassingthwaighe J.B. Regional myocardial flow heterogeneity explained with fractal networks. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 1989, vol. 257, no. 5, pp. H1670-H1680. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.1989.257.5.H1670>
8. Bell J.B., Colella P., Glaz H.M. Second-Order Projection Method for the Incompressible Navier-Stokes Equations. *Journal of Computational Physics*, 1989, vol. 85, no. 2, pp. 257-283. [https://doi.org/10.1016/0021-9991\(89\)90151-4](https://doi.org/10.1016/0021-9991(89)90151-4)
9. Stefanou K. et al. Blood flow in arterial segments: Rigid vs. deformable walls simulations. *Journal of Serbian Society for Computational Mechanics*, 2011, vol. 5, no. 1, pp. 69-77. http://www.sscm.kg.ac.rs/jsscm/downloads/Vol5No1/Vol5No1_paper6.pdf
10. Moccia S. et al. Blood vessel segmentation algorithms — Review of methods, datasets and evaluation metrics. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 2018, vol. 158, pp. 71-91. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2018.02.001>
11. Gharahi H. Computational fluid dynamic simulation of human carotid artery bifurcation based on anatomy and volumetric blood flow rate measured with magnetic resonance imaging. *International Journal of Advances in Engineering Sciences and Applied Mathematics*, 2016, vol. 8, no. 1, pp. 46-60. <https://doi.org/10.1007/s12572-016-0161-6>
12. Revellin R. Extension of Murray's law using a non-Newtonian model of blood flow. *Theoretical Biology and Medical Modelling*, 2009, vol. 6, no. 1, article number: 7. <https://doi.org/10.1186/1742-4682-6-7>
13. Fredrich T., Welter M., Rieger H. Dynamic vessel adaptation in synthetic arteriovenous networks. *Journal of Theoretical Biology*, 2019, vol. 483, 109989. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2019.109989>
14. Greenwald S.E., Berry C.L. Improving vascular grafts: the importance of mechanical and haemodynamic properties. *The Journal of Pathology*, 2000, vol. 190, no. 3, pp. 292-299. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1096-9896\(200002\)190:3%3C292::aid-path528%3E3.0.co;2-s](https://doi.org/10.1002/(sici)1096-9896(200002)190:3%3C292::aid-path528%3E3.0.co;2-s)
15. Hagmeijer R., Venner C.H. Critical review of Murray's theory for optimal branching in fluidic networks. *arXiv*, 2018. <https://arxiv.org/abs/1812.09706>

16. Issa R. Solution of the implicitly discretised fluid flow equations by operator-splitting. *Journal of Computational Physics*, 1986, vol. 62, no. 1, pp. 40-65. [https://doi.org/10.1016/0021-9991\(86\)90099-9](https://doi.org/10.1016/0021-9991(86)90099-9)
17. Schreiner W. et al. Limited Bifurcation Asymmetry in Coronary Arterial Tree Models Generated by Constrained Constructive Optimization. *Journal of General Physiology*, 1997, vol. 109, no. 2, pp. 129-140. <https://doi.org/10.1085/jgp.109.2.129>
18. Huang W. Morphometry of the human pulmonary vasculature. *Journal of Applied Physiology*, 1996, vol. 81, no. 5, pp. 2123-2133. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.81.5.2123>
19. Murray C.D. The Physiological Principle of Minimum Work: I. The Vascular System and the Cost of Blood Volume. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1926, vol. 12, no. 3, pp. 207-214. <https://doi.org/10.1073/pnas.12.3.207>
20. Murray C.D. The Physiological Principle of Minimum Work: II. Oxygen Exchange in Capillaries. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1926, vol. 12, no. 5, pp. 299-304. <https://doi.org/10.1073/pnas.12.5.299>
21. Murray C.D. The physiological principle of minimum work applied to the angle of branching of arteries. *Journal of General Physiology*, 1926, vol. 9, no. 6, pp. 835-841. <https://doi.org/10.1085/jgp.9.6.835>
22. Johnston B.M. Non-Newtonian blood flow in human right coronary arteries: Steady state simulations. *Journal of Biomechanics*, 2004, vol. 37, no. 5, pp. 709-720. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2003.09.016>
23. Olufsen M.S. A One-Dimensional Fluid Dynamic Model of the Systemic Arteries / Fauci L.J., Gueron S. (eds). *Computational Modeling in Biological Fluid Dynamics. The IMA Volumes in Mathematics and its Applications*, 2001, vol. 124, pp. 167-187. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0151-6_9
24. Pollanen M.S. Dimensional optimization at different levels of the arterial hierarchy. *Journal of Theoretical Biology*, 1992, vol. 159, no. 2, pp. 267-270. [https://doi.org/10.1016/s0022-5193\(05\)80706-4](https://doi.org/10.1016/s0022-5193(05)80706-4)
25. Pries A.R., Secomb T.W., Gahtgens P. Design Principles of Vascular Beds. *Circulation Research*, 1995, vol. 77, no. 5, pp. 1017-1023. <https://doi.org/10.1161/01.res.77.5.1017>
26. Roux, W. Ueber die Verzweigungen der Blutgefäße. Eine morphologische Studie. *Z. Naturwissenschaft*, 1878, vol. 12, pp. 205-266.
27. Shibeshi S.S., Collins W.E. The rheology of blood flow in a branched arterial system. *Applied Rheology*, 2005, vol. 15, no. 6, pp. 398-405. <https://doi.org/10.1515/arh-2005-0020>

28. Schreiner W. et al. The branching angles in computer-generated optimized models of arterial trees. *Journal of General Physiology*, 1994, vol. 103, no. 6, pp. 975-989. <https://doi.org/10.1085/jgp.103.6.975>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Зенин Олег Константинович, д.м.н., профессор кафедры «Анатомия человека»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет»

ул. Красная, 40, г. Пенза, 440026, Российская Федерация

zen.olegz@gmail.com

Оверко Виталий Станиславович, младший научный сотрудник

Институт прикладной математики и механики НАН Украины

ул. Добровольского, 1, г. Славянск, 84116, Украина

vitaliioverko@gmail.com

Дмитриев Андрей Викторович, к.м.н., заведующий отделением рентгенэндоваскулярной хирургии

Институт неотложной и восстановительной хирургии имени В. К. Гусака

пр. Ленинский, 47, г. Донецк, 83000, Украина

dmitriev72@list.ru

Милтых Илья Сергеевич, студент 3-го курса

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет»

ул. Красная, 40, г. Пенза, 440026, Российская Федерация

ilyamiltykh@outlook.com

DATA ABOUT THE AUTHORS

Oleg K. Zenin, Dr. Sc. (Medicine), Professor of Human anatomy

Penza State University

40, Krasnaya Str., Penza, 440026, Russian Federation

SPIN-code: 3159-1346

ORCID: 0000-0002-5447-1989

ResearcherID: O-7965-2015

Scopus Author ID: 57198085128

Vitalii S. Overko, Researcher

Institute of Applied Mathematics and Mechanics National Academy of Sciences of Ukraine

1, Dobrovolsky Str., Slavyansk, 84116, Ukraine

vitaliioverko@gmail.com

SPIN-code: 5757-6806

Andrey V. Dmitriev, Cand. Sc. (Medicine), Head of the Department of Endovascular Surgery

V.K.Gusak Institute of Emergency and Reconstructive Surgery

47, Leninskiy pr., Donetsk, 83000, Ukraine

dmitriev72@list.ru

Ilya S. Milykh, 3rd year medical student

Penza State University

40, Krasnaya Str., Penza, 440026, Russian Federation

ilyamilykh@outlook.com

SPIN-code: 9363-6873

ORCID: 0000-0002-9130-3255

ВНУТРЕННИЕ БОЛЕЗНИ

INTERNAL MEDICINE

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-32-46

УДК 618.1

ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ЭКСПРЕССИИ МАРКЕРОВ ПЛОТНЫХ КОНТАКТОВ У ЖЕНЩИН ПОСЛЕ МИОМЭКТОМИИ

А.И. Шаповалова, В.О. Полякова, Т.С. Клейменова

Обоснование. Миома матки представляет собой доброкачественные опухоли, образующиеся из гладкомышечных клеток. Клаудины (CLDN) являются основными белками плотных контактов, демонстрируя различную экспрессию в тканях, причем профиль экспрессии CLDN является репрезентативным. CLDN играют важнейшую роль в неопластических процессах, так как принимают участие в формировании единого сигнального пути между внеклеточным матриксом и внутриклеточным цитоскелетом.

Цель. Изучить уровень экспрессии маркеров, отвечающих за функциональную активность плотных контактов клеток CLDN1, CLDN7 и CLDN10 в биоптатах интактного миометрия у женщин разных возрастных групп.

Материалы и методы. Обследовано 90 пациенток в возрасте от 23 до 47 лет, которые были рандомизированы на 6 групп. В первые три группы вошли 45 практически здоровых пациенток, в четвертую, пятую и шестую группы – женщины с миомой матки. И контрольные группы и пациентки с миомой матки были разделены на ранний, средний и поздний репродуктивный возраст.

Исследование проводилось с разрешения этического комитета в отделении оперативной гинекологии с операционным блоком ФГБНУ «НИИ АГиР им. Д.О. Отта». (Директор – д.м.н., профессор Коган И.Ю.). Каждый участник подписывал форму информированного согласия на обследование.

Проведён комплекс диагностических методик: анамнестические данные, клинико-гинекологическое обследование, эхография, эндоскопия, гистологиче-

ское исследование соскобов и макропрепаратов, удаленных во время операций. Далее материал исследовался при помощи иммунофлуоресцентного анализа.

Статистическая обработка проводилась в программе «Excel 2010. Microsoft Office» и в аналитической программе «Statistica 10.0».

Результаты. В результате иммунофлуоресцентного анализа было выявлено, что уровень экспрессии маркеров плотных межклеточных контактов Claudin 1, Claudin 7 и Claudin 10 снижается в эпителии мембран клеток у женщин, страдающих миомой матки.

Заключение. Таким образом, изменение функциональной активности плотных контактов приводит к нарушению связей между соседними клетками. Уровень экспрессии клаудинов может быть использован в качестве маркера и мишени для таргетной терапии.

Ключевые слова: миома матки; клаудины; рубец на матке; возрастные изменения; после миомэктомии

Для цитирования: Шаповалова А.И., Полякова В.О., Клейменова Т.С. Возрастные изменения уровня экспрессии маркеров плотных контактов у женщин после миомэктомии // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 2. С. 32-46. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-32-46

AGE CHANGES IN THE EXPRESSION LEVEL OF TIGHT JUNCTIONS MARKERS IN WOMEN AFTER MYOMECTOMY

A.I. Shapovalova, V.O. Polyakova, T.S. Kleimenova

Background. Uterine fibroids are benign tumors that form from smooth muscle cells. Claudins (CLDNs) are tight junction proteins, their expression is different in tissues, the expression of CLDN is representative. CLDNs play an important role in neoplastic processes, as they are involved in the formation of a single signaling pathway between the extracellular matrix and the intracellular cytoskeleton.

Purpose. Objective of the study level of expression of markers responsible for the functional activity of CLDN1, CLDN7 and CLDN10 tight junctions in biopsy specimens of intact myometrium in women of different age groups.

Materials and methods. The study involved 90 patients aged 23 to 47 who were in randomly into 6 groups. The first three groups included 45 healthy patients, the fourth, fifth and sixth groups – women with uterine fibroids. The control groups and patients with uterine fibroids were divided into early, middle and late reproductive age.

The study was conducted with the approval of the Ethics Committee FSBSI "The Research Institute of Obstetrics, Gynecology and Reproductology named after D.O.Ott" (Director – MD, professor Kogan I.Y.). Each participant signed an informed consent form for examination.

A complex of diagnostic techniques was carried out: anamnestic data, clinical and gynecological examination, echography, endoscopy, histological examination of scrapings and macropreparations removed during operations. Further, the material was studied using immunofluorescence analysis.

Statistical analysis was performed using the application «Excel 2010. Microsoft Office» and package "Statistica 10.0".

Results. *The results of the study show the level of expression of markers of tight intercellular contacts Claudin 1, Claudin 7 and Claudin 10 is reduced in the epithelium of cell membranes in women with uterine myoma.*

Conclusion. *A change in the functional activity of tight contacts leads to a disruption in the connections between cells. The expression level of claudins can be used as a marker and target for targeted therapy.*

Keywords: *uterine fibroids; Claudins; uterine scarring; age-related changes; after myomectomy*

For citation. *Shapovalova A.I., Polyakova V.O., Kleimenova T.S. Age changes in the expression level of tight junctions markers in women after myomectomy. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 32-46. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-32-46*

Миомы матки, так же называемые лейомиомы, являются наиболее частыми доброкачественными опухолями у женщин [13; 21]. Влияние миомы на экономику очень велико, от нее страдают около 11 миллионов женщин в мире и их число неуклонно растет [15]. Симптомы включают меноррагию, дисменорею, диспареунию, боль в области таза и частое мочеиспускание [14]. Дефицит эстрогенов, наблюдающийся после выполнения гистерэктомии, лишает пациентку полноценного протективного действия женских половых гормонов в отношении всех видов обмена веществ и нормального функционирования систем органов. Гипоэстрогения приводит к развитию постгистерэктомического синдрома, проявляющегося преждевременным развитием атеросклероза и болезней кровообращения, остеопорозом, расстройствами психологического статуса, урогенитальными нарушениями [3]. Несмотря на то, что миома является такой распространенной проблемой, исследования этиологии ведутся постоянно. Большинство современных клинических рекоменда-

ций указывают на то, что консервативная миомэктомия позитивно влияет на детородную функцию, повышает вероятность вынашивания беременности и должна выполняться в качестве предгравидарной подготовки [1]. Однако, существует и противоположное мнение, его сторонники ставят под сомнение целесообразность миомэктомии у нерожавших женщин, учитывая формирование послеоперационного рубца миометрия, который становится более значимым осложнением беременности и родов, чем сама миома [7].

Клаудины (Claudin) – небольшие интегральные мембранные белки, являющиеся ключевыми молекулами плотных контактов (ПК), регулирующих диффузию ионов и воды, играющие роль в формировании клеточной полярности, адгезии, дифференцировке и пролиферации [9]. Плотные контакты представляют собой один из способов межклеточной адгезии в листах эпителиальных или эндотелиальных клеток, они формируют непрерывные уплотнения вокруг клеток и служат физическим барьером для предотвращения свободного прохождения растворенных веществ и воды через межклеточное пространство [24]. ПК демонстрируют широкую вариабельность плотности в разных органах, начиная от почти полного сжатия параклеточной щели для растворенных веществ до образования парацеллюлярных пор для определенных катионов (и анионов), например в почечных канальцах. Проницаемость этих клеточных соединений и функция эпителиального барьера в первую очередь опосредуются клаудинами, а изоформы клаудина, экспрессируемые в ткани, определяют тканеспецифические барьерные характеристики [6]. Внутриклеточные клаудины млекопитающих содержат ~ 7 N-концевых аминокислот, ~ 12 петлевых аминокислот и 25-55 C-концевых аминокислот. Плотность клаудинов и функции пор очень динамична. Фосфорилирование обеспечивает кратковременную регуляцию клаудинов. *CLDN1* представляет собой ген, кодирующий белок Claudin 1. В большей степени Claudin 1 экспрессируется плазматической мембраной, так же белок может обнаруживаться в цитоплазме, но в значительно меньшей степени. Долгое время он считался предполагаемым супрессором многих опухолей. Claudin 7 поддерживает клеточную полярность, играет важную роль в межклеточной коммуникации и гомеостазе эпителиальных клеток [5]. Известно, что Claudin 3, 4, 7 и 8 уменьшают проницаемость эпителиальной ткани [8; 19]. Claudin 10 кодируется геном *CLDN10* и встречается в двух изоформах: Claudin 10a и Claudin 10b, которые составляют межклеточные анионные или катионные каналы, соответственно [16]. Claudin

10a и -10b существенно различаются не только по своим функциям, но и по локализации экспрессии в организме. Экспрессия Claudin 10a, по-видимому, ограничена почками, а Claudin 10b был обнаружен во многих тканях: в почках, коже, слюнных железах, потовых железах, мозгу, легких и поджелудочной железе [10; 12; 25].

Известно, что с возрастом барьерная функция плотных контактов нарушается. В ряде исследований было показано, что экспрессия клаудинов обычно снижается с возрастом в тканях в печени, легких [22], почках [11; 20] и поджелудочной железе [4], обеспечивая возможный механизм снижения барьерной функции, наблюдаемый в различных тканях пожилых людей. Параллельные исследования микрососудов головного мозга человека выявили возрастное нарушение распределения CLDN5 у женщин в постменопаузе по сравнению с женщинами в пременопаузе. Тем не менее, исследований клаудинов в тканях как рубцов в целом, так и в рубцах интактного миометрия в литературе не было описано. С нашей точки зрения, уровень экспрессии клаудинов позволит по-новому оценить состоятельность рубца и явиться прогностическим признаком для определения состояния рубца, что имеет особую значимость для женщин старших возрастных групп.

Целью данного исследования явилось изучение уровня экспрессии маркеров функциональной активности плотных контактов клеток CLDN1, CLDN7 и CLDN10 в биоптатах интактного миометрия у женщин разных возрастных групп.

Материал и методы. Обследование проводилось в отделении оперативной гинекологии с операционным блоком ФГБНУ «НИИ АГиР им. Д.О. Отта». У всех пациенток был проведен комплекс диагностических методик: анамнестические данные, клинико-гинекологическое обследование, эхография (УЗИ с трансабдоминальным, трансвагинальным датчиком с ЦДК), эндоскопия (гистероскопия, лапароскопия), гистологическое исследование соскобов и макропрепаратов, удаленных во время операций. Материал для иммунофлуоресцентного исследования был получен методом трепан-биопсии интактного миометрия в зоне, прилежащей к миоматозному узлу, во время лапароскопической миомэктомии у женщин в возрасте от 23 до 47 лет. В контрольной группе при диагностической лапароскопии брали биоптаты миометрия. Операция проводилась в 1 фазу менструального цикла. Весь материал был разделен на 6 групп (табл. 1). Изучались 3 возрастных группы: ранний (20-29 лет), средней (30-39 лет) и поздний (40-49 лет) репродуктивный возраст.

Таблица 1.

«Исследуемые группы»

№ группы	Выборка	Возраст	Группа исследования
I	n=20	20-29	Контроль
II	n=15	30-39	Контроль
III	n=10	40-49	Контроль
IV	n=20	20-29	Пациентки с миомой матки
V	n=15	30-39	Пациентки с миомой матки
VI	n=10	40-49	Пациентки с миомой матки

Иммунофлуоресцентное исследование проводили на парафиновых срезах. Срезы ткани толщиной 4 мкм помещали на предметные стекла, покрытые пленкой из поли-L-лизина (Sigma), высушивали препараты в течение 24 часов в термостате при температуре 37°C. Для проведения иммунофлуоресцентного исследования использовали стандартный двухэтапный протокол с демаскировкой антигена (высокотемпературной обработкой ткани) в 0,01 М цитратном буфере pH=6,08-6,10. Использовались следующие первичные моноклональные антитела: Anti-Claudin 1 antibody (rabbit polyclonal, 1:500, клон: ab15098, abcam), Anti-Claudin 7/CLDN-7 antibody (rabbit polyclonal, 1:200, клон: ab27487, abcam), Anti-Claudin 10 antibody (rabbit polyclonal, 1:300, клон: ab52234, abcam), инкубация проводилась во влажной камере в условиях, указанных в инструкции. В качестве вторичных антител использовали антитела конъюгированными с флуорохромом Alexa Fluor 647 и Alexa Fluor 488 (1:1000, Abcam), стекла инкубировали 30 мин при комнатной температуре, в темноте. Ядра клеток докрашивали Hoechst 33258 (Sigma) в течение 1 мин. Готовые препараты заключали под покровные стекла в монтирующую среду Fluorescent Mounting Medium (Dako). В качестве негативного контроля производилась реакция без использования первичных антител. Специфичность антител подтверждали в контрольных экспериментах. Микропрепараты исследовали на конфокальном микроскопе Zeiss LSM 980 при увеличении 200×, архивировали по 5 полей зрения с каждого препарата. Морфометрический анализ проводили с использованием бесплатного программного обеспечения ImageJ, изучался параметр относительная площадь экспрессии, выраженный в процентах.

Статистическая обработка проводилась в программе «Excel 2010. Microsoft Office» и в аналитической программе «Statistica 10.0». Описательная статистика включала в себя расчет средних арифметических и стандартных отклонений.

В связи, с небольшой выборкой и отсутствием нормального распределения большинства параметров для межгрупповых сравнений был использован U-критерий Манна–Уитни. С помощью критерия были попарно сравнены выборки показателей относительной площади экспрессии и оптической плотностью для всех подгрупп. Значение $p < 0,017$ было принято как статистически значимое (с учетом поправки Бонферрони).

Результаты и обсуждение

В проведенном исследовании было выявлено, что средняя относительная площадь уровня экспрессии Claudin 1 была статистически значимо ниже во всех трех возрастных группах по сравнению с группой контроля: $22,5 \pm 2,1\%$ против $13,7 \pm 1,1\%$, $18,7 \pm 1,7\%$ – $9,4 \pm 0,7\%$, $11,2 \pm 0,5\%$ – $3,2 \pm 0,2\%$. Схожие данные были получены при изучении Claudin 7: в I группе значение средней относительной площади экспрессии составляло $37,3 \pm 4,6\%$, в то время как в группе контроля этой возрастной группы $20,5 \pm 1,2\%$; во II группе этот показатель – $26,3 \pm 2,9\%$, а в V – $12,4 \pm 2,2\%$; в III группе – $15,2 \pm 2,3\%$, в том время как в VI всего $6,7 \pm 0,6\%$, что так же является статистически значимой разницей. Та же тенденция к уменьшению наблюдалась у маркера Claudin 10: в I группе – $45,2 \pm 1,2\%$ против $38,6 \pm 2,3\%$ в контроле; $34,6 \pm 2,5\%$ во II и $24,2 \pm 1,8\%$ в V группах женщин среднего репродуктивного возраста; $21,3 \pm 1,4\%$ в III и $15,3 \pm 1,3\%$ в VI исследуемых категориях пациенток старшей возрастной группы. Полученные результаты наглядно продемонстрированы на рисунке 1 и в таблице 2.

Таблица 2.

«Данные сравнений между группами» (M±σ)

Возраст	Исследуемые группы		P
	Пациентки с мномой матки	Контроль	
<i>Claudin 1</i>			
23-29	22,5±2,1	13,7±1,1	0,047
30-39	18,7±1,7	9,4±0,7	0,018
40-47	11,2±0,5	3,2±0,2	0,002
<i>Claudin 7</i>			
23-29	37,3±4,6	20,5±1,2	0,014
30-39	26,3±2,9	12,4±2,2	0,009
40-47	15,2±2,3	6,7±0,6	0,027
<i>Claudin 10</i>			
23-29	45,2±1,2	38,6±2,3	0,072
30-39	34,6±2,5	24,2±1,8	0,001
40-47	21,3±1,4	15,3±1,3	0,001

Все вышеперечисленное говорит о том, что у пациенток с миомой матки уровень клаудинов статистически достоверно снижен по сравнению с группой контроля. Полученные результаты позволяют говорить о том, что женщины, из контрольной группы не страдающих миомой матки могут раньше планировать беременность, в отличие от пациенток с миомой матки, у которых уровень маркеров плотных контактов значительно ниже. Средний возраст выявления миомы матки составляет 32 года, поэтому проблема миомы и беременность приобретает все большую актуальность в связи с омоложением больных с одной стороны, и поздним планированием беременности с другой [2]. В любом случае беременную после миомэктомии следует рассматривать как пациентку с повышенным риском осложнений и высоким процентом риска необходимости оперативного родоразрешения в плановом порядке, а, возможно, и досрочного родоразрешения.

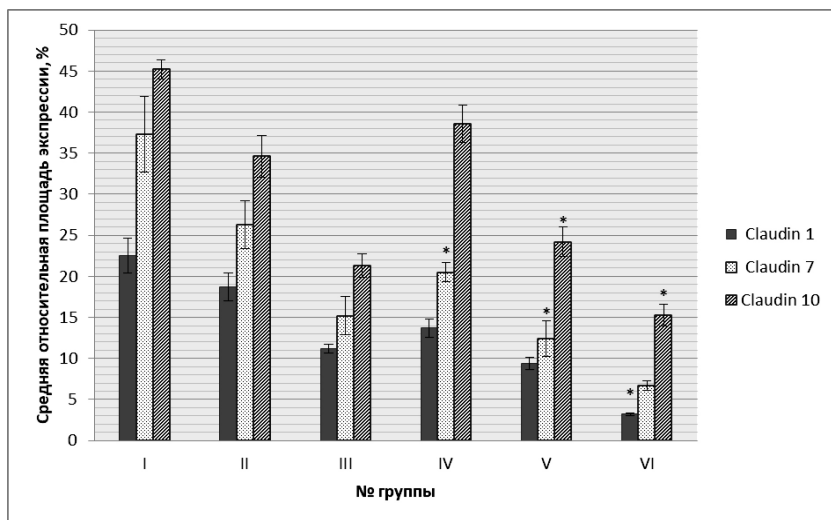


Рис. 1. Диаграмма средней относительной площади экспрессии Claudin 1, Claudin 7 и Claudin 10 в исследуемых группах; * $p < 0,017$ по сравнению с контрольной группой в одних и тех же возрастных групп пациенток.

В ряде исследований было показано, что во время беременности наблюдаются изменения в протеинах плотного контакта, таких как клаудин 1 и 2, а также преобразования в полярности эпителиоцитов [18; 26]. Хотя до конца функция эпителиальной дифференцировки и функции белков плот-

ных контактов в созревании шейки матки не ясна, те изменения, которые наблюдаются в норме, и неправильная экспрессия в преждевременных родах и переносных беременностях заставляют предположить, что данные белки могут обеспечивать барьерную защиту во время беременности [17; 23; 27]. Удаление или добавление клаудинов, как правило, выборочно влияет на барьерные функции плотных контактов. Определенные клаудины действуют как герметики, другие образуют параклеточные ионоселективные каналы. Таким образом клаудины могут быть репрезентативными маркерами для определенных групп пациенток.

Заключение

Клаудины представляют собой семейство белков, являющихся наиболее важными компонентами плотных (замыкающих) контактов, где они устанавливают параклеточный барьер, контролирующий потоки молекул в межклеточном пространстве между клетками эпителия. Уровень экспрессии маркеров плотных межклеточных контактов Claudin 1, Claudin 7 и Claudin 10 снижается в эпителии мембран клеток у женщин, страдающих миомой матки. Мы предполагаем, что изменение функциональной активности плотных контактов приводит к нарушению связей между соседними клетками. Уровень экспрессии клаудинов может быть использован в качестве маркера и мишени для таргетной терапии.

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

Список литературы

1. Адамян Л.В., Андреева Е.Н., Артымук Н.В., Белоцерковцева Л.Д. и др. Миома матки: диагностика, лечение и реабилитация. Клинические рекомендации по ведению больных. М., 2015. С. 153-158.
2. Вихляева Е.М. Руководство по диагностике и лечению лейомиомы матки. М.: МЕДпресс-информ, 2004. С. 400-401.
3. Чаава Л.И., Хахиани Е.И., Цыган В.Н., Дрыгин А.Н., Пахомова М.А. Эндокринно-метаболические последствия оперативных вмешательств при миоме матки: патогенетическая характеристика // Педиатр. 2019. Т. 10, № 2. С. 75-82. <https://doi.org/10.17816/PED10275-82>
4. D'Souza T, Sherman-Baust CA, Poosala S, et al. Age-related changes of claudin expression in mouse liver, kidney, and pancreas // J Gerontol A Biol Sci Med Sci., 2009, vol. 64A, no. 11, pp. 1146–1153. <https://doi.org/10.1093/gerona/glp118>

5. Ding L, Lu Z, Foreman O, et al. Inflammation and disruption of the mucosal architecture in claudin-7-deficient mice // *Gastroenterology*, 2012, vol. 142, no. 2, pp. 305–315. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2011.10.025>
6. Escudero-Esparza A., Jiang W.G., Martin T.A. The claudin family and its role in cancer and metastasis // *Front. Biosci. (Landmark. Ed.)*, 2011, vol. 16, no. 3, pp. 1069–1083. <https://fbscience.com/Landmark/articles/10.2741/3736>
7. Fagherazzi S, Borgato S, Bertin M, Vitagliano A, Tommasi L, Conte L. Pregnancy outcome after laparoscopic myomectomy // *Clinical and Experimental Obstetrics & Gynecology*, 2014, vol. 41, no. 4, pp. 375-379. <https://ceog.imrpress.com/EN/10.12891/ceog19442014>
8. Fujita H., Chiba H., Yokozaki H., Sakai N., Sugimoto K., Wada T., Kojima T., Yamashita T., Sawada N. Differential expression and subcellular localization of claudin-7, -8, -12, -13, and -15 along the mouse intestine // *J. Histochem. Cytochem.*, 2006, vol. 54, no. 8, pp. 933–944. <https://doi.org/10.1369/jhc.6A6944.2006>
9. Furuse M., Hirase T., Itoh M., Nagafuchi A., Yonemura S., Tsukita S., Tsukita S. Occludin: a novel integral membrane protein localizing at tight junctions // *J. Cell Biol.*, 1993, vol. 123, no. 6, pp. 1777–1788. <https://doi.org/10.1083/jcb.123.6.1777>
10. Günzel D., Stuiver M., Kausalya P.J., Haisch L., Krug S.M., Rosenthal R., Meij I.C., Hunziker W., Fromm M., Muller D. Claudin-10 exists in six alternatively spliced isoforms that exhibit distinct localization and function // *J. Cell. Sci.*, 2009, vol. 122, no. 10, pp. 1507–1517. <https://doi.org/10.1242/jcs.040113>
11. Haddad M, Lin F, Dwarakanath V, Cordes K, Baum M. Developmental changes in proximal tubule tight junction proteins // *Pediatr Res.*, 2005, vol. 57, no. 3, pp. 453–457. <https://doi.org/10.1203/01.PDR.0000151354.07752.9B>
12. Inai T., Sengoku A., Guan X., Hirose E., Iida H., Shibata Y. Heterogeneity in expression and subcellular localization of tight junction proteins, claudin-10 and -15, examined by RT-PCR and immunofluorescence microscopy // *Arch. Histol. Cytol.*, 2005, vol. 68, no. 5, pp. 349–360. <https://doi.org/10.1679/aohc.68.349>
13. Kashani BN, Centini G, Morelli SS, Weiss G, Petraglia F. Role of Medical Management for Uterine Leiomyomas // *Best Pract Res Clin Obstet Gynaecol.*, 2016, vol. 34, pp. 85-103. <https://doi.org/10.1016/j.bpobgyn.2015.11.016>
14. Kim HG, Song YJ, Na YJ, Choi OH. A case of torsion of a subserosal leiomyoma // *Journal of menopausal medicine*, 2013, vol. 19, no. 3, pp. 147-50. <https://doi.org/10.6118/jmm.2013.19.3.147>
15. Marsh EE, Al-Hendy A, Kappus D, Galitsky A, Stewart EA, Kerolous M. Burden, Prevalence, and Treatment of Uterine Fibroids: A Survey of U.S. Women // *J Womens Health (Larchmt)*, 2018, vol. 27, no. 11, pp. 1359-1367. <https://doi.org/10.1089/jwh.2018.7076>

16. Meyers N., Nelson-Williams C., Malaga-Diequez L., Kaufmann H., Loring E., Knight J., Lifton R.P., Trachtman H. Hypokalemia Associated With a Claudin 10 Mutation: A Case Report // *Am. J. Kidney Dis.*, 2019, vol. 73, no. 3, pp. 425–428. <https://doi.org/10.1053/j.ajkd.2018.08.015>
17. Mittal S. Risk of high-grade precancerous lesions and invasive cancers in high-risk HPV-positive women with normal cervix or CIN 1 at baseline-A population-based cohort study / S. Mittal, P.Basu, R. Muwonge, D. Banerjee, I. Ghosh, M. Sengupta, P. Das, P. Dey, R. Mandal, C. Panda, J. Biswas, R.Sankaranarayanan // *Int J Cancer*, 2017, vol. 140, no. 8, pp. 1850-1859. <https://doi.org/10.1002/ijc.30609>
18. Peralta L. Mechanical assessment of cervical remodelling in pregnancy: insight from a synthetic model / L. Peralta, G. Rus, N.Bochud, F. Molina // *J Biomech.*, 2015, vol. 48, no. 9, pp. 1557-1565. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2015.02.037>
19. Rahner, C., Mitic, L.L. and Anderson, J.M. Heterogeneity in expression and subcellular localization of claudins 2, 3, 4, and 5 in the rat liver, pancreas, and gut // *Gastroenterology*, 2001, vol. 120, no. 2, pp. 411-422. <https://doi.org/10.1053/gast.2001.21736>
20. Reyes JL, Lamas M, Martin D, del Carmen Namorado M, Islas S, Luna J, Tauc M, Gonzalez-Mariscal L. The renal segmental distribution of claudins changes with development // *Kidney Int.*, 2002, vol. 62, pp. 476–487. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1755.2002.00479.x>
21. Stewart EA, Laughlin-Tommaso SK, Catherino WH, Lalitkumar S, Gupta D, Vollenhoven B. Uterine fibroids // *Nat Rev Dis Primers*, 2016, vol. 2, article number: 16043. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2016.43>
22. Tankersley CG, Shank JA, Flanders SE, et al. Changes in lung permeability and lung mechanics accompany homeostatic instability in senescent mice // *J Appl Physiol.*, 2003, vol. 95, no. 4, pp. 1681-1687. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00190.2003>
23. Timmons B.C., Mitchell S.M., Gilpin C., Mahendroo M.S. Dynamic changes in the cervical epithelial tight junction complex and differentiation occur during cervical ripening and parturition // *Endocrinology*, 2007, vol. 148, no. 3, pp. 1278–1287. <https://doi.org/10.1210/en.2006-0851>
24. Tsukita S, Yamazaki Y, Katsuno T, Tamura A, Tsukita S. Tight junction-based epithelial microenvironment and cell proliferation // *Oncogene*, 2008, vol. 27, no. 55, pp. 6930–6938. <https://doi.org/10.1038/onc.2008.344>
25. Van Itallie C.M., Rogan S., Yu A., Vidal L.S., Holmes J., Anderson J.M. Two splice variants of claudin-10 in the kidney create paracellular pores with different ion selectivities // *Am. J. Physiol. Ren. Physiol.*, 2006, vol. 291, no. 6, pp. 1288–1299. <https://doi.org/10.1152/ajprenal.00138.2006>

26. Wira C.R., Grant-Tschudy K.S., Crane-Godreau M.A. Epithelial cells in the female reproductive tract: a central role as sentinels of immune protection // *Am J Reprod Immunol.*, 2005, vol. 53, no. 2, pp. 65–76. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0897.2004.00248.x>
27. Wohlmeister D., Vianna D.R., Helfer V.E., Gimenes F., Consolaro M.E., Barcellos R.B., Rossetti M.L., Calil L.N., Buffon A., Pilger D.A. Association of human papillomavirus and Chlamydia trachomatis with intraepithelial alterations in cervix samples // *Mem Inst Oswaldo Cruz.*, 2016, vol. 111, no. 2, pp. 106-108. <https://doi.org/10.1590/0074-02760150330>

References

1. Adamyan L.V., Andreeva E.N., Artymuk N.V., Belotserkovtseva L.D. et al. *Mioma matki: diagnostika, lechenie i rehabilitatsiya. Klinicheskie rekomendatsii po vedeniyu bol'nykh* [Myoma of the uterus: diagnosis, treatment and rehabilitation. Clinical guidelines for the management of patients]. M., 2015, pp. 153-158.
2. Vikhlyayeva E.M. *Rukovodstvo po diagnostike i lecheniyu leyomiomy matki* [Guidelines for the diagnosis and treatment of uterine leiomyoma]. M.: MEDpress-inform, 2004, pp. 400-401.
3. Chaava L.I., Kakhiani E.I., Tsygan V.N., Drygin A.N., Pakhomova M.A. Endokrinno-metabolicheskie posledstviya operativnykh vmeshatel'stv pri miome matki: patogeneticheskaya kharakteristika [Endocrine-metabolic consequences of surgical interventions for uterine myoma: pathogenetic characteristics]. *Pediatr.*, 2019, vol. 10, no. 2, pp. 75-82. <https://doi.org/10.17816/PED10275-82>
4. D'Souza T, Sherman-Baust CA, Poosala S, et al. Age-related changes of claudin expression in mouse liver, kidney, and pancreas. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.*, 2009, vol. 64A, no. 11, pp. 1146–1153. <https://doi.org/10.1093/gerona/64A1118>
5. Ding L, Lu Z, Foreman O, et al. Inflammation and disruption of the mucosal architecture in claudin-7-deficient mice. *Gastroenterology*, 2012, vol. 142, no. 2, pp. 305–315. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2011.10.025>
6. Escudero-Esparza A., Jiang W.G., Martin T.A. The claudin family and its role in cancer and metastasis. *Front. Biosci. (Landmark. Ed.)*, 2011, vol. 16, no. 3, pp. 1069–1083. <https://fbscience.com/Landmark/articles/10.2741/3736>
7. Fagherazzi S, Borgato S, Bertin M, Vitagliano A, Tommasi L, Conte L. Pregnancy outcome after laparoscopic myomectomy. *Clinical and Experimental Obstetrics & Gynecology*, 2014, vol. 41, no. 4, pp. 375-379. <https://ceog.imrpess.com/EN/10.12891/ceog19442014>
8. Fujita H., Chiba H., Yokozaki H., Sakai N., Sugimoto K., Wada T., Kojima T., Yamashita T., Sawada N. Differential expression and subcellular localization of

- claudin-7, -8, -12, -13, and -15 along the mouse intestine. *J. Histochem. Cytochem.*, 2006, vol. 54, no. 8, pp. 933–944. <https://doi.org/10.1369/jhc.6A6944.2006>
9. Furuse M., Hirase T., Itoh M., Nagafuchi A., Yonemura S., Tsukita S., Tsukita S. Occludin: a novel integral membrane protein localizing at tight junctions. *J. Cell Biol.*, 1993, vol. 123, no. 6, pp. 1777–1788. <https://doi.org/10.1083/jcb.123.6.1777>
 10. Günzel D., Stuiver M., Kausalya P.J., Haisch L., Krug S.M., Rosenthal R., Meij I.C., Hunziker W., Fromm M., Muller D. Claudin-10 exists in six alternatively spliced isoforms that exhibit distinct localization and function. *J. Cell. Sci.*, 2009, vol. 122, no. 10, pp. 1507–1517. <https://doi.org/10.1242/jcs.040113>
 11. Haddad M, Lin F, Dwarakanath V, Cordes K, Baum M. Developmental changes in proximal tubule tight junction proteins. *Pediatr Res.*, 2005, vol. 57, no. 3, pp. 453–457. <https://doi.org/10.1203/01.PDR.0000151354.07752.9B>
 12. Inai T, Sengoku A., Guan X., Hirose E., Iida H., Shibata Y. Heterogeneity in expression and subcellular localization of tight junction proteins, claudin-10 and -15, examined by RT-PCR and immunofluorescence microscopy. *Arch. Histol. Cytol.*, 2005, vol. 68, no. 5, pp. 349–360. <https://doi.org/10.1679/aohc.68.349>
 13. Kashani BN, Centini G, Morelli SS, Weiss G, Petraglia F. Role of Medical Management for Uterine Leiomyomas. *Best Pract Res Clin Obstet Gynaecol.*, 2016, vol. 34, pp. 85-103. <https://doi.org/10.1016/j.bpobgyn.2015.11.016>
 14. Kim HG, Song YJ, Na YJ, Choi OH. A case of torsion of a subserosal leiomyoma. *Journal of menopausal medicine*, 2013, vol. 19, no. 3, pp. 147-50. <https://doi.org/10.6118/jmm.2013.19.3.147>
 15. Marsh EE, Al-Hendy A, Kappus D, Galitsky A, Stewart EA, Kerolous M. Burden, Prevalence, and Treatment of Uterine Fibroids: A Survey of U.S. Women. *J Womens Health (Larchmt)*, 2018, vol. 27, no. 11, pp. 1359-1367. <https://doi.org/10.1089/jwh.2018.7076>
 16. Meyers N., Nelson-Williams C., Malaga-Dieguez L., Kaufmann H., Loring E., Knight J., Lifton R.P., Trachtman H. Hypokalemia Associated With a Claudin 10 Mutation: A Case Report. *Am. J. Kidney Dis.*, 2019, vol. 73, no. 3, pp. 425–428. <https://doi.org/10.1053/j.ajkd.2018.08.015>
 17. Mittal S. Risk of high-grade precancerous lesions and invasive cancers in high-risk HPV-positive women with normal cervix or CIN 1 at baseline-A population-based cohort study / S. Mittal, P.Basu, R. Muwonge, D. Banerjee, I. Ghosh, M. Sengupta, P. Das, P. Dey, R. Mandal, C. Panda, J. Biswas, R.Sankaranarayanan. *Int J Cancer*, 2017, vol. 140, no. 8, pp. 1850-1859. <https://doi.org/10.1002/ijc.30609>
 18. Peralta L. Mechanical assessment of cervical remodelling in pregnancy: insight from a synthetic model / L. Peralta, G. Rus, N.Bochud, F. Molina. *J Biomech.*, 2015, vol. 48, no. 9, pp. 1557-1565. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2015.02.037>

19. Rahner, C., Mitic, L.L. and Anderson, J.M. Heterogeneity in expression and subcellular localization of claudins 2, 3, 4, and 5 in the rat liver, pancreas, and gut. *Gastroenterology*, 2001, vol. 120, no. 2, pp. 411-422. <https://doi.org/10.1053/gast.2001.21736>
20. Reyes JL, Lamas M, Martin D, del Carmen Namorado M, Islas S, Luna J, Tauc M, Gonzalez-Mariscal L. The renal segmental distribution of claudins changes with development. *Kidney Int.*, 2002, vol. 62, pp. 476–487. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1755.2002.00479.x>
21. Stewart EA, Laughlin-Tommaso SK, Catherino WH, Lalitkumar S, Gupta D, Vollenhoven B. Uterine fibroids. *Nat Rev Dis Primers*, 2016, vol. 2, article number: 16043. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2016.43>
22. Tankersley CG, Shank JA, Flanders SE, et al. Changes in lung permeability and lung mechanics accompany homeostatic instability in senescent mice. *J Appl Physiol.*, 2003, vol. 95, no. 4, pp. 1681-1687. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00190.2003>
23. Timmons B.C., Mitchell S.M., Gilpin C., Mahendroo M.S. Dynamic changes in the cervical epithelial tight junction complex and differentiation occur during cervical ripening and parturition. *Endocrinology*, 2007, vol. 148, no. 3, pp. 1278–1287. <https://doi.org/10.1210/en.2006-0851>
24. Tsukita S, Yamazaki Y, Katsuno T, Tamura A, Tsukita S. Tight junction-based epithelial microenvironment and cell proliferation. *Oncogene*, 2008, vol. 27, no. 55, pp. 6930–6938. <https://doi.org/10.1038/onc.2008.344>
25. Van Itallie C.M., Rogan S., Yu A., Vidal L.S., Holmes J., Anderson J.M. Two splice variants of claudin-10 in the kidney create paracellular pores with different ion selectivities. *Am. J. Physiol. Ren. Physiol.*, 2006, vol. 291, no. 6, pp. 1288–1299. <https://doi.org/10.1152/ajprenal.00138.2006>
26. Wira C.R., Grant-Tschudy K.S., Crane-Godreau M.A. Epithelial cells in the female reproductive tract: a central role as sentinels of immune protection. *Am J Reprod Immunol.*, 2005, vol. 53, no. 2, pp. 65–76. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0897.2004.00248.x>
27. Wohlmeister D., Vianna D.R., Helfer V.E., Gimenes F., Consolaro M.E., Barcellos R.B., Rossetti M.L., Calil L.N., Buffon A., Pilger D.A. Association of human papillomavirus and Chlamydia trachomatis with intraepithelial alterations in cervix samples. *Mem Inst Oswaldo Cruz.*, 2016, vol. 111, no. 2, pp. 106-108. <https://doi.org/10.1590/0074-02760150330>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Шаповалова Александра Игоревна, младший научный сотрудник

АННО ВО НИЦ Санкт-Петербургский Институт биорегуляции и геронтологии

*пр. Динамо, 3, г. Санкт-Петербург, 197110, Российская Федерация
Alexandra.sh7@mail.ru*

Полякова Виктория Олеговна, д.б.н., профессор, профессор РАН, заведующая НИЦ
*ФГБОУ ВО СПбГПМУ Минздрава России
ул. Литовская 2, г. Санкт-Петербург, 194100, Российская Федерация
vopol@yandex.ru*

Клейменова Татьяна Сергеевна, к.б.н., преподаватель кафедры медицинской биологии
*ФГБОУ ВО СПбГПМУ Минздрава России
ул. Литовская 2, г. Санкт-Петербург, 194100, Российская Федерация
kleimenovats@gmail.com*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Alexandra I. Shapovalova, Junior Researcher

*Saint-Petersburg Institute of Bioregulation and Gerontology
3, Dinamo pr., St. Petersburg 197110, Russian Federation
Alexandra.sh7@mail.ru*

Viktoria O. Polyakova, Dr. Sc. (Biology), Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences, Head of the Research Center
*St. Petersburg State Pediatric Medical University
2, Litovskaya Str., St. Petersburg, 194100, Russian Federation
vopol@yandex.ru*

*SPIN-code: 5581-5413
ORCID: 0000-0001-8682-9909
ResearcherID: O-1461-2016
Scopus Author ID: 7004515705*

Tatyana S. Kleimenova, Cand. Sc. (Biology), Lecturer at the Department of Medical Biology
*St. Petersburg State Pediatric Medical University
2, Litovskaya Str., St. Petersburg, 194100, Russian Federation
kleimenovats@gmail.com*

*SPIN-code: 4876-3420
ORCID: 0000-0003-0767-5564
ResearcherID: P-7344-2016
Scopus Author ID: 57194462104*

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

PUBLIC HEALTH AND PREVENTIVE MEDICINE

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-47-63

УДК 614.2

ОБЩЕСТВЕННОЕ ЗДОРОВЬЕ И РАЗВИТИЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ В РЕГИОНАХ РОССИИ

С.Н. Иванова

В статье основное внимание уделено разработке методического инструментария оценки общественного здоровья и уровня развития здравоохранения в регионах России. Новизна подхода заключается в исследовании общественного здоровья как экономической категории, отражающей как затраты экономических ресурсов страны, направляемых на охрану здоровья населения, так и результативность государственной политики государства, направленной на охрану здоровья населения.

Разработан методический инструментарий многокритериальной оценки общественного здоровья и уровня развития здравоохранения в регионах России на основе интегральных индикаторов результативности и ресурсной обеспеченности системы здравоохранения. Для формирования интегральных индикаторов использованы сопоставимые по регионам России статистические данные, отражающие обеспеченность населения услугами врачей, средним медицинским персоналом, больничными койко-местами, ожидаемую продолжительность здоровой жизни, суммарный коэффициент рождаемости, коэффициент младенческой смертности, коэффициент смертности населения трудоспособного возраста.

Проведена дифференциация регионов России по интегральным индикаторам результативности и ресурсной обеспеченности системы здравоохранения.

ния. Определены основные проблемы функционирования системы здравоохранения на территориях регионов России.

Обоснованы предложения по совершенствованию подготовки медицинских кадров, повышению доступности первичной медицинской помощи, уровня оснащенности современным медицинским оборудованием медицинских учреждений, обеспечению информированности местного населения о здоровом образе жизни.

Ключевые слова: общественное здоровье; здравоохранение; многокритериальная оценка; дифференциация регионов; результативность системы здравоохранения; медицинские услуги; доступность медицинской помощи; регион; государственная политика

Для цитирования: Иванова С.Н. Общественное здоровье и развитие здравоохранения в регионах России // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 2. С. 47-63. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-47-63

PUBLIC HEALTH AND HEALTH CARE DEVELOPMENT IN THE REGIONS OF RUSSIA

S.N. Ivanova

The article focuses on the development of methodological tools for assessing public health and the level of health care development in the regions of Russia. The novelty of the approach lies in the study of public health as an economic category, reflecting both the costs of the country's economic resources directed to protecting the health of the population, and the effectiveness of the state policy of the state aimed at protecting the health of the population.

A methodological toolkit has been developed for a multicriteria assessment of public health and the level of health care development in the regions of Russia on the basis of integral indicators of the effectiveness and resource provision of the health care system. For the formation of integral indicators, statistical data comparable across regions of Russia were used, reflecting the provision of the population with the services of doctors, nurses, hospital beds, healthy life expectancy, total fertility rate, infant mortality rate, mortality rate of the working-age population.

Differentiation of Russian regions by integral indicators of performance and resource provision of the health care system has been carried out. The main problems of the functioning of the health care system in the territories of the regions of Russia are determined.

Proposals for improving the training of medical personnel, increasing the availability of primary medical care, the level of equipment with modern medical equip-

ment in medical institutions, and ensuring awareness of the local population about a healthy lifestyle have been substantiated.

Keywords: *public health; health care; multi-criteria assessment; differentiation of regions; effectiveness of the health care system; medical services; accessibility of medical care; region; state policy*

For citation. *Ivanova S.N. Public Health and Health Care Development in the Regions of Russia. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 47-63. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-47-63*

Введение

Проблемы оценки общественного здоровья и эффективности функционирования системы здравоохранения приобретают особую значимость и актуальность в настоящее время. Несмотря на результативную работу всех медицинских организаций, самоотверженную работу медицинских работников страны в условиях борьбы с COVID-19, проявились все проблемы, существующие давно в развитии инфраструктуры как системы здравоохранения, так и других отраслей социальной сферы страны. Именно сейчас приходит всеобщее понимание того, что инфраструктурное развитие любой территории необъятной России должно осуществляться по современным стандартам и требованиям, независимо от ее географического расположения и административного статуса. Вследствие этого, разработка методического инструментария оценки общественного здоровья и уровня развития здравоохранения в регионах России стала целью данного исследования. В задачи исследования были включены обобщение российской и зарубежной практики оценки общественного здоровья, а также разработка методического инструментария многокритериальной оценки общественного здоровья и уровня развития здравоохранения в регионах России на основе интегральных индикаторов результативности и ресурсной обеспеченности системы здравоохранения.

Новизна подхода заключается в исследовании общественного здоровья как экономической категории, отражающей как затраты экономических ресурсов страны, направляемых на охрану здоровья населения, так и результативность государственной политики государства, направленной на охрану здоровья населения.

Материалы и методы исследований

Исследования показали, что общественное здоровье, как объект исследования, рассматривается во многих научных работах как медицинского, так и экономического направления [1, 2, 5, 12, 18, 19]. Как экономиче-

ская категория, общественное здоровье отражает затраты экономических ресурсов страны, направляемых на охрану здоровья населения, и результативность государственной политики государства, направленной на реализацию государственных программ в сфере охраны здоровья населения [3, 6, 7, 9, 10, 15, 17, 20, 22, 23, 25, 26].

В российской и зарубежной практике измерения общественного здоровья существуют различные подходы и методы. Всемирная организация здравоохранения для измерения рекомендует использовать критерии: расходы ВВП (валового национального продукта) на здравоохранение, доступность первичной медико-социальной помощи, уровень иммунизации населения, уровень детской смертности, средняя продолжительность предстоящей жизни, гигиеническая грамотность населения, уровень обследования беременных, состояние питания детей [23, 29].

В зарубежных странах применяются и показатели ожидаемой продолжительности здоровой жизни. В российской практике измерения общественного здоровья распространены показатели заболеваемости, инвалидности населения, демографические и др.

Проблемы развития механизмов регулирования и формирования приоритетов предоставления глобальных общественных благ в области здравоохранения рассматриваются в зарубежных исследованиях [27, 29, 30].

В данной работе общественное здоровье рассматривается как экономическая категория, отражающая затраты экономических ресурсов страны, направляемых на охрану здоровья населения, и результативность государственной политики государства, направленной на охрану здоровья населения. В качестве основных показателей, характеризующих общественное здоровье, определены показатели ожидаемой продолжительности здоровой жизни, суммарный коэффициент рождаемости, коэффициент младенческой смертности, коэффициент смертности населения трудоспособного возраста.

Разработан методический инструментарий многокритериальной оценки общественного здоровья и развития здравоохранения на территориях регионального уровня России на основе интегральных индикаторов результативности и ресурсной обеспеченности системы здравоохранения. Ранжирование территорий по интегральному индикатору ресурсной обеспеченности здравоохранения ($n=3$) и интегральному индикатору результативности системы здравоохранения ($n=4$) осуществляется на основе индексного метода:

$$R_i = \sum_{j=1}^n R_{ij}$$

где

R_{ij} – ранг оценки i – территории по j -му показателю

n – количество показателей, по которым осуществляется ранжирование

Для формирования интегральных индикаторов использованы сопоставимые по регионам России статистические данные, отражающие ресурсную обеспеченность здравоохранения (обеспеченность регионов услугами врачей, средним медицинским персоналом, больничными койко-местами), и результативность системы здравоохранения (ожидаемая продолжительность здоровой жизни, суммарный коэффициент рождаемости, коэффициент младенческой смертности, коэффициент смертности населения трудоспособного возраста) [8, 21].

Результаты исследований

Разработанный инструментарий позволяет провести дифференциацию регионов России по показателям результативности системы здравоохранения и ресурсной обеспеченности системы здравоохранения (рис. 1).

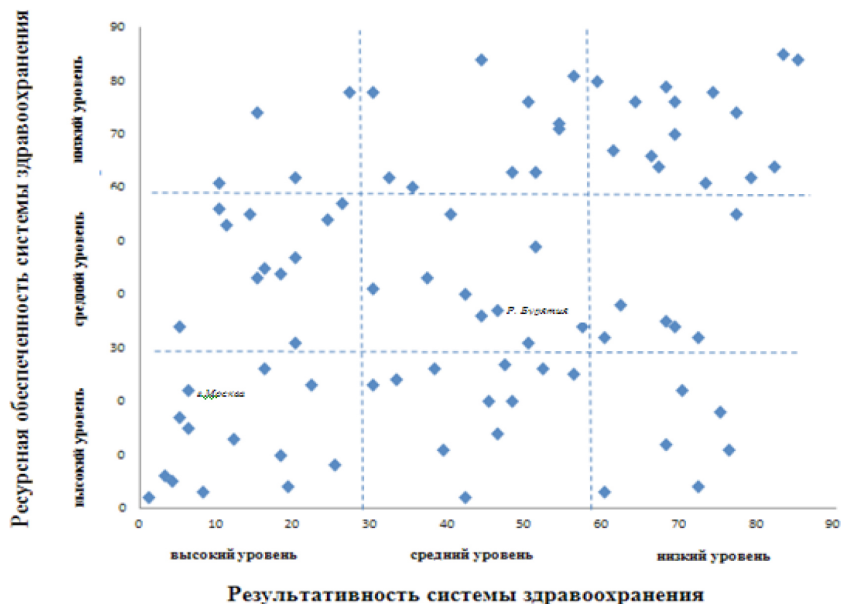


Рис. 1. Дифференциация регионов России по показателям результативности системы здравоохранения и ресурсной обеспеченности системы здравоохранения

Расчеты показали, что группу с высоким уровнем результативности системы здравоохранения и высоким уровнем ресурсной обеспеченности системы здравоохранения составляют 13 регионов России: г. Москва, г. Санкт-Петербург, Калужская область, Московская область, Республика Адыгея, Республика Крым, Краснодарский край, Республика Дагестан, Республика Ингушетия, Чеченская Республика, Республика Татарстан, Удмуртская Республика, Республика Хакасия (рис. 1, табл. 1).

Таблица 1.

Дифференциация регионов России по уровню результативности и уровню ресурсной обеспеченности системы здравоохранения

		Результативность системы здравоохранения региона		
		Низкий уровень	Средний уровень	Высокий уровень
Ресурсная обеспеченность системы здравоохранения региона	Высокий уровень	Республика Саха (Якутия), Республика Северная Осетия-Алания, Астраханская область, Кировская область, Сахалинская область, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра	Республика Калмыкия, Республика Мордовия, Чувашская Республика, Оренбургская область, Ульяновская область, Тюменская область, Курская область, Волгоградская область, Ярославская область, Пермский край, Хабаровский край	Республика Адыгея, Республика Дагестан, Республика Ингушетия, Республика Крым, Республика Татарстан, Республика Хакасия, Удмуртская Республика, Чеченская Республика, Калужская область, Московская область, Краснодарский край, г. Москва, г. Санкт-Петербург
	Средний уровень	Мурманская область, Новосибирская область, Саратовская область, Томская область, Ненецкий автономный округ, Ямало-Ненецкий автономный округ	Республика Алтай, Республика Бурятия, Кабардино-Балкарская Республика, Воронежская область, Костромская область, Липецкая область, Рязанская область, Свердловская область, Ставропольский край	Республика Башкортостан, Республика Марий Эл, Карачаево-Черкесская Республика, Вологодская область, Ивановская область, Калининградская область, Ленинградская область, Ростовская область, Самарская область, Тамбовская область, г. Севастополь
	Низкий уровень	Республика Коми, Республика Тыва, Амурская область, Архангельская область, Белгородская область, Еврейская автономная область, Иркутская область, Магаданская область, Омская область, Орловская область, Смоленская область, Забайкальский край, Красноярский край, Камчатский край, Чукотский автономный округ	Республика Карелия, Кемеровская область, Курганская область, Тверская область, Тульская область, Новгородская область, Псковская область, Нижегородская область, Алтайский край, Приморский край	Брянская область, Владимирская область, Пензенская область, Челябинская область

Высокий уровень результативности системы здравоохранения и средний уровень ресурсной обеспеченности здравоохранения наблюдается в 11 регионах: Ивановская область, Тамбовская область, Вологодская область, Калининградская область, Ленинградская область, Ростовская область, г. Севастополь, Карачаево-Черкесская Республика, Республика Башкортостан, Республика Марий Эл, Самарская область.

Высокий уровень результативности системы здравоохранения и низкий уровень ресурсной обеспеченности здравоохранения наблюдается в 4 регионах (Брянская область, Владимирская область, Пензенская область, Челябинская область).

Группу со средним уровнем результативности системы здравоохранения и высоким уровнем ресурсной обеспеченности здравоохранения составляют 11 регионов (Хабаровский край, Курская область, Ярославская область, Республика Калмыкия, Волгоградская область, Республика Мордовия, Чувашская Республика, Пермский край, Оренбургская область, Ульяновская область, Тюменская область.).

Средний уровень результативности системы здравоохранения и средний уровень ресурсной обеспеченности здравоохранения наблюдается в 9 регионах (Воронежская область, Костромская область, Липецкая область, Рязанская область, Кабардино-Балкарская Республика, Ставропольский край, Свердловская область, Республика Алтай, Республика Бурятия).

Средний уровень результативности и низкий уровень ресурсной обеспеченности здравоохранения имеют 10 регионов (Тверская область, Тульская область, Республика Карелия, Новгородская область, Псковская область, Нижегородская область, Курганская область, Алтайский край, Кемеровская область, Приморский край).

Низкий уровень результативности системы здравоохранения и высокий уровень ресурсной обеспеченности здравоохранения наблюдается в 6 регионах (Астраханская область, Республика Северная Осетия-Алания, Кировская область, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Республика Саха (Якутия), Сахалинская область).

Низкий уровень результативности системы здравоохранения и средний уровень ресурсной обеспеченности здравоохранения имеют 6 регионов (Ненецкий автономный округ, Мурманская область, Саратовская область, Ямало-Ненецкий автономный округ, Новосибирская область, Томская область).

Низкий уровень результативности системы здравоохранения и низкий уровень ресурсной обеспеченности здравоохранения имеют 15 регионов (Республика Коми, Белгородская область, Орловская область, Смоленская

область, Архангельская область, Республика Тыва, Красноярский край, Иркутская область, Омская область, Забайкальский край, Камчатский край, Амурская область, Магаданская область, Еврейская автономная область, Чукотский автономный округ).

Обсуждение результатов

Результаты оценки общественного здоровья регионов России свидетельствуют о том, что 27 регионов или практически каждый третий регион России характеризуется низким уровнем результативности системы здравоохранения по показателям ожидаемой продолжительности здорового образа жизни, показателям рождаемости и смертности. Низкий уровень ресурсной обеспеченности системы здравоохранения наблюдается также в каждом третьем регионе России, или в 29 регионах.

Дифференциация регионов по результативности и ресурсной обеспеченности систем здравоохранения позволяет не только оценить результативность региональных систем здравоохранения, но и обосновать вывод о том, что проблемы доступности медицинской помощи, по-прежнему, остаются актуальными для многих жителей российских регионов. Подтверждают полученные данные и исследования д.м.н. Лудуповой Е.Ю., согласно которым в Республике Бурятия наблюдается «низкая доступность первичной врачебной, специализированной медицинской помощи для сельского населения, так более 30 процентов сельских жителей обслуживается фельдшерско-акушерскими пунктами (ФАП)» [11].

Несмотря на реализацию в России программ: «Земский врач» с 2012 года, на арктических и северных территориях России – программ «Арктический доктор» с 2012 года, «Арктический фельдшер» с 2018 года, остается актуальной проблема повышения доступности медицинского обслуживания населения для сельских территорий, северных и арктических территорий. Выводы автора подтверждаются результатами опросов населения, проводимого Всероссийским центром изучения общественного мнения (ВЦИОМ): к числу первых пяти приоритетов политики государства россияне, по-прежнему, относят: качество и доступность медицины (38%), повышение доступности образования (25%), открытие новых производств (23%), решение жилищной проблемы (19%) и повышение социальных гарантий (15%) [4].

Для повышения доступности медицинского обслуживания населения сельских и городских территорий всех регионов России необходимы, на наш взгляд, прежде всего, повышение оплаты труда медицинских работников, повышение нормативов обеспечения объектами здравоохранения,

медицинскими кадрами сельских и городских малонаселенных северных, арктических и восточных территорий России. Заслуживают особого внимания предложения многих исследователей. Тагаева Т.О. считает, что для развития системы здравоохранения необходимы повышение уровня финансирования и содействие формированию в обществе здорового образа жизни, как фактора снижения уровня смертности [18]. Цехла С.Ю., Плугарь Е.В. также отмечают необходимость при разработке программ развития здравоохранения учитывать проблемы повышения стоимости медицинского обслуживания и общих расходов на здравоохранение в России, связанных с развитием новых медицинских технологий и новых лекарственных средств, а также с ростом уровня заболеваемости и инвалидности населения, связанного со старением населения [22].

Дискуссионным остается вопрос об уровне всеобщего охвата услугами здравоохранения и необходимости увеличения государственного финансирования здравоохранения. О необходимости развития механизмов регулирования и формирования приоритетов предоставления глобальных общественных благ в области здравоохранения рекомендуется в зарубежных исследованиях [27, 29, 30]. При этом многие зарубежные исследователи считают, что для продвижения к всеобщему здравоохранению государственные расходы на здравоохранение должны составлять не менее 5% ВВП [24, 28].

В России государственные расходы на охрану здоровья населения осуществляются в рамках обеспечения программы государственных гарантий бесплатного оказания гражданам медицинской помощи и в 2018 году составляли 3315,9 млрд.руб., или 3,2% ВВП страны [8, С.153]. Целевыми индикаторами выполнения государственной программы «Развитие здравоохранения», национальных проектов «Здравоохранение» и «Демография» являются показатели увеличения ожидаемой продолжительности здоровой жизни, увеличения суммарного коэффициента рождаемости, снижения смертности населения трудоспособного возраста, снижения младенческой смертности и др. [16, 14, 13]. Финансирование системы здравоохранения России осуществляется также и за счет средств населения, включая оплату медицинских услуг и взносы добровольного медицинского страхования.

Заключение

1. Разработан методический инструментарий многокритериальной оценки общественного здоровья и уровня развития здравоохранения в регионах России на основе интегральных индикаторов результативности и ресурсной обеспеченности системы здравоохранения.

2. Выявлено, что в 27 регионах России наблюдаются низкий уровень результативности системы здравоохранения по показателям ожидаемой продолжительности жизни, показателям рождаемости и смертности. Низкий уровень ресурсной обеспеченности системы здравоохранения наблюдается также в 29 регионах России.

3. Обосновано, что в целях повышения доступности медицинского обслуживания населения сельских территорий, северных и арктических территорий России необходимо повышение оплаты труда медицинских работников, совершенствование нормативных стандартов в сфере территориального размещения объектов здравоохранения, в сфере обеспечения медицинскими кадрами.

4. В целях повышения показателей общественного здоровья населения, являющихся показателями результативности системы здравоохранения, необходимо повышение уровня финансирования программ содействия формированию в обществе здорового образа жизни, программ развития новых медицинских технологий и разработки новых лекарственных средств, а также совершенствования образовательных программ в сфере подготовки медицинских кадров.

5. Новый подход к разработке инструментария ранжирования территорий России по индикаторам результативности и ресурсной обеспеченности системы здравоохранения развивает научные основы управления экономикой здравоохранения и может быть рекомендован для практического применения в сфере разработки перспективных направлений развития системы здравоохранения России как на региональном, так и муниципальном уровнях.

Информация о конфликте интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено в рамках государственного задания Байкальского института природопользования СО РАН Проект №АААА-А21-121011590039-6 (0273-2021-0003)

The study was carried out within the framework of the state assignment of the Baikal Institute of Nature Management SB RAS Project №АААА-А21-121011590039-6 (0273-2021-0003)

Список литературы

1. Агарков В.И., Лихобабина О.А., Агарков А.В., Бугашева Н.В., Парахина О.Н. Теории общественного здоровья, медицины и народонаселения

- // Вестник гигиены и эпидемиологии. 2019. Т. 23. №2. С. 152-155. <https://vh.dnmu.ru/index.php/VHE-2-2018/article/download/251/262/>
2. Беликова И.В., Радченко Н.Р., Кустарева Л.П. Мониторинг состояния здоровья населения в контексте развития общественного здравоохранения // Здоровье человека, теория и методика физической культуры и спорта. 2019. № 4 (15). С. 257-261. <http://journal.asu.ru/zosh/article/view/7105>
 3. Болдина К.С. Классификация регионов РФ по уровню развития системы здравоохранения // Вестник Волгоградского государственного университета 2015. №2 (27). С. 31-39. <http://dx.doi.org/10.15688/jvolsu1.2015.2.3>
 4. Государство и общество: цели, приоритеты, императивы. Данные опросов ВЦИОМ. <https://old.wciom.ru/index.php?id=236&uid=10703> (дата обращения: 01.03.2021)
 5. Дагбаева С.Д.-Н. Территориальные проблемы развития социальной инфраструктуры // Фундаментальные исследования. 2019. №4. С. 38-42. <http://dx.doi.org/10.17513/fr.42435>
 6. Журавлева Т.А. Доступность услуг здравоохранения в Орловской области // Вестник Академии знаний. 2018. №1 (24). С. 83-89. <http://academiyadt.ru/zhurnal-vestnik-akademii-znaniy-vaz-24-1-yanvar-fevral-2018/>
 7. Захарова Е.Н. Региональные особенности состояния здоровья населения и организации системы здравоохранения Свердловской области // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. 2019. №3. С. 128-137. <https://doi.org/10.21295/2223-5639-2019-3-128-137>
 8. Здравоохранение в России. 2019: Стат.сб. / Росстат. М., 2019. 170 с.
 9. Иванова С.Н. Ранжирование территорий регионального и локального уровней по доступности услуг социальной сферы // Экономика и управление: научно-практический журнал. 2020. №4 (154). С. 131-136. <https://doi.org/10.34773/EU.2020.4.28>
 10. Каткова И.П. Российское здравоохранение в контексте задач достижения всеобщей доступности услуг здравоохранения к 2030 году // Народонаселение. 2020. Т. 23, № 1. С. 135-147. <https://doi.org/10.19181/population.2020.23.1.11>
 11. Лудупова Е.Ю. Нучно-организационные принципы построения территориальной системы управления качеством медицинской деятельности: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М., 2019. 47 с.
 12. Нацун Л.Н. Оценка показателей общественного здоровья в России в контексте выполнения Целей устойчивого развития ООН // Социальная политика и социология. 2019. Т. 18, №4. С. 5-13. <https://doi.org/10.17922/2071-3665-2019-18-4-5-13>

13. Паспорт национального проекта «Демография». <http://government.ru/info/35559/> (дата обращения 01.03.2021).
14. Паспорт национального проекта «Здравоохранение». <http://government.ru/info/35561/> (дата обращения: 01.03.2021).
15. Письменная Е.Е., Моженкова Е.М. Доступность и качество медицинских услуг в российской системе здравоохранения // Вестник Финансового университета. 2016. №2 (22). С. 36-40. <https://humanities.fa.ru/jour/article/view/110/99>
16. Постановление Правительства РФ от 26 декабря 2017 г. № 1640 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие здравоохранения». <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71748440/> (дата обращения: 01.03.2021)
17. Русинова Н.Л., Панова Л.В. Доступ к услугам здравоохранения: методологические подходы и методы измерения // Журнал социологии и социальной антропологии. 2002. Т. V, №4. С. 147-163. https://ecsocman.hse.ru/data/343/877/1219/011_Rusinova2c_Panova_147-163.pdf
18. Тагаева Т.О., Казанцева Л.К. Общественное здоровье и реформа здравоохранения в России // Мир новой экономики. 2019. 13(3). С. 126-134. <https://doi.org/10.26794/2220-6469-2019-13-4-126-134>
19. Тимофеев Л.Ф., Петрова П.Г., Борисова Н.В., Туркебаева Л.К., Тимофеев А.Л. Интегральный анализ показателей общественного здоровья и ресурсной обеспеченности здравоохранения по экономическим зонам Республики Саха (Якутия) // Вестник Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова. Серия: «Медицинские науки». 2020 №2 (19). С. 60-67. <https://doi.org/10.25587/SVUFU.2020.19.2.006>
20. Торопушина Е.Е. Методические подходы к оценке уровня развития социальной инфраструктуры регионов Севера и Арктики России // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2018. №4 (60). С.101-111. <https://doi.org/10.25702/KSC.2220-802X.4.2018.60.101-111>
21. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 29.01.2021).
22. Цехла С.Ю., Плугарь Е.В. Здоровье населения и развитие экономики здоровья // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Экономика и управление. 2017. Т. 3 (69), №1. С. 104-110. <http://sn-ecomanager.cfuv.ru/wp-content/uploads/2018/02/010cexla.pdf>
23. Шабунова А.А. Общественное здоровье и его измерение // Социологический альманах. 2011. №2. С. 173-181. https://socio.bas-net.by/wp-content/uploads/2016/04/soc_alm2.pdf

24. D. McIntyre, F. Meheus, J. Røttingen What level of domestic government health expenditure should we aspire to for universal health coverage? // *Health Economics, Policy and Law*, 2017, vol. 12, no. 2, pp. 125-137. <https://doi.org/10.1017/S1744133116000414>
25. Duganov M.D., Shabunova A.A., Kalashnikov K.N. Post-Industrial Countries' Experience in Medical Care Restructuring and Lessons for Russia // *Problems of territory's development*, 2016, no. 2, pp. 65-81. <http://pdt.vsec.ac.ru/article/1799/full>
26. Ivanova A.A., Potapov A.F., Timofeev L.F., Makarova T.S., Bulatov A.V., Ignateva L.V. Trends in Mortality from Preventable Causes in the Sakha Republic (Yakutia) // *International Journal of Biomedicine*, 2020, vol. 10, no. 2, pp. 169-173. [https://doi.org/10.21103/Article10\(2\)_OA17](https://doi.org/10.21103/Article10(2)_OA17)
27. Mark Dybul Health financing seen from the global level: beyond the use of gross national income // *Health Economics, Policy and Law*, 2017, vol. 12, Special Issue 2: Towards a Global Framework for Health Financing, pp. 117-120. <https://doi.org/10.1017/S1744133116000396>
28. R. Elovainio, D. Evans Raising more domestic money for health: prospects for low- and middle-income countries // *Health Economics, Policy and Law*, 2017, vol. 12, Special Issue 2: Towards a Global Framework for Health Financing, pp. 139-157. <https://doi.org/10.1017/S1744133116000426>
29. Suerie Moon, John-Arne Røttingen, Julio Frenk Global public goods for health: weaknesses and opportunities in the global health system // *Health Economics, Policy and Law*, 2017, vol. 12, Special Issue 2: Towards a Global Framework for Health Financing, pp. 195-205. <https://doi.org/10.1017/S1744133116000451>
30. Suerie Moon and Oluwatosin Omole Development assistance for health: critiques, proposals and prospects for change // *Health Economics, Policy and Law*, 2017, vol. 12, Special Issue 2: Towards a Global Framework for Health Financing, pp. 207-221. <https://doi.org/10.1017/S1744133116000463>

References

1. Agarkov V.I., Likhobabina O.A., Agarkov A.V., Bugasheva N.V., Parakhina O.N. Teorii obshchestvennogo zdorov'ya, meditsiny i narodonaseleniya [Theories of public health, medicine and population]. *Vestnik gigieny i epidemiologii* [Bulletin of Hygiene and Epidemiology], 2019, vol. 23, no. 2, pp. 152-155. <https://vh.dnmu.ru/index.php/VHE-2-2018/article/download/251/262/>
2. Belikova I.V., Radchenko N.R., Kustareva L.P. Monitoring sostoyaniya zdorov'ya naseleniya v kontekste razvitiya obshchestvennogo zdravookhraneniya [Monitoring of the health status of the population in the context of public

- health development]. *Zdorov'e cheloveka, teoriya i metodika fizicheskoy kul'tury i sporta* [Human health, theory and methodology of physical culture and sports], 2019, no. 4 (15), pp. 257-261. <http://journal.asu.ru/zosh/article/view/7105>
3. Boldina K.S. Klassifikatsiya regionov RF po urovnyu razvitiya sistemy zdravookhraneniya [Classification of regions of the Russian Federation by the level of development of the health care system]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Volgograd State University], 2015, no. 2 (27), pp. 31-39. <http://dx.doi.org/10.15688/jvolsu1.2015.2.3>
 4. *Gosudarstvo i obshchestvo: tseli, priority, imperativy* [State and society: goals, priorities, imperatives]. <https://old.wciom.ru/index.php?id=236&uid=10703> (accessed 01.03.2021)
 5. Dagbaeva S.D.-N. Territorial'nye problemy razvitiya sotsial'noy infrastruktury [Territorial problems of social infrastructure development]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research], 2019, no. 4, pp. 38-42. <http://dx.doi.org/10.17513/fr.42435>
 6. Zhuravleva T.A. Dostupnost' uslug zdravookhraneniya v Orlovskoy oblasti [Availability of healthcare services in the Oryol region]. *Vestnik Akademii znaniy* [Bulletin of the Academy of Knowledge], 2018, no. 1 (24), pp. 83-89. <http://academiyadt.ru/zhurnal-vestnik-akademii-znaniy-vaz-24-1-yanvar-fevral-2018/>
 7. Zakharova E.N. Regional'nye osobennosti sostoyaniya zdorov'ya naseleniya i organizatsii sistemy zdravookhraneniya Sverdlovskoy oblasti [Regional features of the health status of the population and the organization of the health care system in the Sverdlovsk region]. *Vestnik Belgorodskogo universiteta kooperatsii, ekonomiki i prava* [Bulletin of the Belgorod University of Cooperation, Economics and Law], 2019, no. 3, pp. 128-137. <https://doi.org/10.21295/2223-5639-2019-3-128-137>
 8. *Zdravookhranenie v Rossii. 2019: Stat.sb.* [Healthcare in Russia] / Rosstat. M., 2019. 170 p.
 9. Ivanova S.N. Ranzhirovanie territoriy regional'nogo i lokal'nogo urovney po dostupnosti uslug sotsial'noy sfery [Ranking of territories of regional and local levels according to the availability of social services]. *Ekonomika i upravlenie: nauchno-prakticheskiy zhurnal* [Economics and Management: scientific and practical journal], 2020, no. 4 (154), pp. 131-136. <https://doi.org/10.34773/EU.2020.4.28>
 10. Katkova I.P. Rossiyskoe zdravookhranenie v kontekste zadach dostizheniya vseobshchey dostupnosti uslug zdravookhraneniya k 2030 godu [Russian healthcare in the context of the tasks of achieving universal accessibility of

- healthcare services by 2030]. *Narodonaselenie*. [Population], 2020, vol. 23, no. 1, pp. 135-147. <https://doi.org/10.19181/population.2020.23.1.11>
11. Ludupova E. Yu. *Nuchno-organizatsionnye printsipy postoeniya territorial'noy sistemy upravleniya kachestvom meditsinskoj deyatel'nosti* [Scientific and organizational principles of building a territorial system for managing the quality of medical activity]: Abstract of the thesis. ... Dr. med. sciences. Moscow, 2019, 47 p.
 12. Natsun L.N. Otsenka pokazateley obshchestvennogo zdorov'ya v Rossii v kontekste vypolneniya Tseley ustoychivogo razvitiya OON [Assessment of public health indicators in Russia in the context of the implementation of the UN Sustainable Development Goals]. *Sotsial'naya politika i sotsiologiya* [Social Policy and Sociology], 2019, vol. 18, no. 4, pp. 5-13. <https://doi.org/10.17922/2071-3665-2019-18-4-5-13>
 13. *Pasport natsional'nogo proekta «Demografiya»* [Passport of the national project “Demography”]. <http://government.ru/info/35559/> (accessed 01.03.2021)
 14. *Pasport natsional'nogo proekta «Zdravookhranenie»* [Passport of the national project “Health”]. <http://government.ru/info/35561/> (accessed 01.03.2021)
 15. Pis'mennaya E.E., Mozhenkova E.M. Dostupnost' i kachestvo meditsinskikh uslug v rossiyskoj sisteme zdravookhraneniya [Mozhenkova E.M. Availability and quality of medical services in the Russian health care system]. *Vestnik Finansovogo universiteta* [Bulletin of the Financial University], 2016, no. 2 (22), pp. 36-40. <https://humanities.fa.ru/jour/article/view/110/99>
 16. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 26 dekabrya 2017 g. № 1640 “Ob utverzhdenii gosudarstvennoj programmy Rossiyskoj Federatsii «Razvitie zdravookhraneniya»* [Decree of the Government of the Russian Federation of December 26, 2017 No. 1640 “On approval of the state program of the Russian Federation “Development of healthcare”]. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71748440/> (accessed 01.03.2021)
 17. Rusinova N.L., Panova L.V. Dostup k uslugam zdravookhraneniya: metodologicheskie podkhody i metody izmereniya [Access to healthcare services: methodological approaches and measurement methods]. *Zhurnal sotsiologii i sotsial'noy antropologii* [Journal of Sociology and Social Anthropology], 2002, vol. V, no. 4, pp. 147-163. https://ecsocman.hse.ru/data/343/877/1219/011_Rusinovax2c_Panova_147-163.pdf
 18. Tagaeva T.O., Kazantseva L.K. Obshchestvennoe zdorov'e i reforma zdravookhraneniya v Rossii [Public health and health care reform in Russia]. *Mir novoy ekonomiki* [World of a new economy], 2019, vol. 13, no. 3, pp. 126-134. <https://doi.org/10.26794/2220-6469-2019-13-4-126-134>

19. Timofeev L.F., Petrova P.G., Borisova N.V., Turkebaeva L.K., Timofeev A.L. Integral'nyy analiz pokazateley obshchestvennogo zdorov'ya i resursnoy obespechennosti zdravookhraneniya po ekonomicheskim zonam Respubliki Sakha (Yakutiya) [Integral analysis of public health indicators and resource provision of health care in the economic zones of the Republic of Sakha (Yakutia)]. *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta imeni M.K. Ammosova. Seriya: «Meditsinskie nauki»* [Bulletin of the North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov. Series: "Medical Sciences"], 2020 no. 2 (19), pp. 60-67. <https://doi.org/10.25587/SVFU.2020.19.2.006>
20. Toropushina E.E. Metodicheskie podkhody k otsenke urovnya razvitiya sotsial'noy infrastruktury regionov Severa i Arktiki Rossii [Methodological approaches to assessing the level of development of social infrastructure in the regions of the North and the Arctic of Russia]. *Sever i rynek: formirovanie ekonomicheskogo poryadka* [North and the market: the formation of the economic order], 2018, no. 4 (60), pp. 101-111. <https://doi.org/10.25702/KSC.2220-802X.4.2018.60.101-111>
21. *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki* Elektronnyy resurs [Federal State Statistics Service . Electronic resource]. URL: <https://rosstat.gov.ru> (date of access: 01/29/2021).
22. Tsekhla S.Yu., Plugar' E.V. Zdorov'e naseleniya i razvitie ekonomiki zdorov'ya [Population health and development of health economics]. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Ekonomika i upravlenie* [Scientific notes of the Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky. Economics and Management], 2017, vol. 3 (69), no. 1, pp. 104-110. <http://sn-ecomman.cfuv.ru/wp-content/uploads/2018/02/010cexla.pdf>
23. Shabunova A.A. Obshchestvennoe zdorov'e i ego izmerenie [Public health and its measurement]. *Sotsiologicheskii al'manakh* [Sociological almanac], 2011, no. 2, pp. 173-181. https://socio.bas-net.by/wp-content/uploads/2016/04/soc_alm2.pdf
24. Mcintyre D., Meheus F., Röttingen J. What level of domestic government health expenditure should we aspire to for universal health coverage? // *Health Economics, Policy and Law*, 2017, vol. 12, no. 2, pp. 125-137. <https://doi.org/10.1017/S1744133116000414>
25. Duganov M.D., Shabunova A.A., Kalashnikov K.N. Post-Industrial Countries' Experience in Medical Care Restructuring and Lessons for Russia. *Problems of territory's development*, 2016, no. 2, pp. 65-81. <http://pdt.vsc.ac.ru/article/1799/full>
26. Ivanova A.A., Potapov A.F., Timofeev L.F., Makarova T.S., Bulatov A.V., Ignateva L.V. Trends in Mortality from Preventable Causes in the Sakha Republic

- (Yakutia). *International Journal of Biomedicine*, 2020, vol. 10, no. 2, pp. 169-173. [https://doi.org/10.21103/Article10\(2\)_OA17](https://doi.org/10.21103/Article10(2)_OA17)
27. Dybul M. Health financing seen from the global level: beyond the use of gross national income. *Health Economics, Policy and Law*, 2017, vol. 12, Special Issue 2: Towards a Global Framework for Health Financing, pp. 117-120. <https://doi.org/10.1017/S1744133116000396>
28. Elovainio R., Evans D. Raising more domestic money for health: prospects for low- and middle-income countries. *Health Economics, Policy and Law*, 2017, vol. 12, Special Issue 2: Towards a Global Framework for Health Financing, pp. 139-157. <https://doi.org/10.1017/S1744133116000426>
29. Moon S., Røttingen J., Frenk J. Global public goods for health: weaknesses and opportunities in the global health system. *Health Economics, Policy and Law*, 2017, vol. 12, Special Issue 2: Towards a Global Framework for Health Financing, pp. 195-205. <https://doi.org/10.1017/S1744133116000451>
30. Moon S., Omole O. Development assistance for health: critiques, proposals and prospects for change. *Health Economics, Policy and Law*, 2017, vol. 12, Special Issue 2: Towards a Global Framework for Health Financing, pp. 207-221. <https://doi.org/10.1017/S1744133116000463>

ДАнные ОБ АВТОРЕ

Иванова Сембрика Нимаевна, доктор социологических наук, доцент, старший научный сотрудник
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук» (БИП СО РАН)
ул. Сахьяновой, 8, г. Улан-Удэ, 670047, Российская Федерация
sambrika@binm.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Sembrika N. Ivanova, Doctor of Sociology, Associate Professor, Senior Researcher
Federal State Budgetary Institution of Science, Baikal Institute of Environmental Management, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (BIP SB RAS)
8, Sakhyanova Str, Ulan-Ude, 670047, Russian Federation
sambrika@binm.ru
ORCID: 0000-0002-5554-2144
Scopus Author ID: 57194431594

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-64-76

UDC 614.2

IMPROVEMENT OF MECHANISMS FOR STATE MANAGEMENT OF CONTINUOUS IMPROVEMENT OF QUALITY OF PROVISION OF MEDICAL SERVICES IN UKRAINE

O. Karpenko, S. Stavytska, I. Artemenko, I. Sidanich, I. Prozhoha

Objective. *To substantiate theoretical and methodological principles, develop scientific and practical recommendations for state management of medical services in Ukraine.*

Materials and methods. *There were used such research methods as synthesis, analysis, scientific abstraction when specifying the categorical-conceptual framework of research; system structural analysis when developing the conceptual principles of state regulation of the provision of medical services of appropriate quality and accessibility; discriminant analysis when assessing the cost of public health services in Ukraine.*

Results. *An approach to the formation of a system to improve the efficiency and quality of medical services in Ukraine has been developed. The system of continuous improvement of the quality of medical services has been developed, which combines financial and economic calculations for provided medical services with screening examination of the technology of medical and diagnostic process according to the models of medical services and allows to build a hierarchical management system for financing and quality of medical services.*

Conclusions. *The has been proposed the method of payment for medical services according to the models of simple and complex medical services, which is the most promising for use in conditions of limited financial resources and involves compliance with the following rules.*

Keywords: *model of medical services; screening expert examination technology; medical-diagnostic process; quality of medical service; patient*

For citation. *Karpenko O., Stavytska S., Artemenko I., Sidanich I., Prozhoha I. Improvement of Mechanisms for State Management of Continuous Improvement of Quality of Provision of Medical Services in Ukraine. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 64-76. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-64-76*

Introduction

The current national system of state regulation of medical services in Ukraine is primarily based on the principles of humanism and social justice. In some countries, the dependence of state regulation of medical services on the state is very significant, and in other countries the participation of the state is reduced to the regulatory function. However, the population of Ukraine is aging, and the share of able-bodied and active people in the country, whose funds form insurance funds, is gradually declining. In addition, the aging population needs pensions and treatment.

In modern society, provision of medical services is one of the most complex elements of state regulation. The most heated discussions are usually related to the problem of market relations, and there arise contradictions between the social mission of the state and personal business motives. In contrast to the usual market of consumer goods and services, physicians act two persons at the same time, both as the party that determines the needs of a patient and as the party that provides and implements them. In addition, the potential consumers of medical services are the poorest, elderly, sick members of society, and not young and healthy ones, which have the main financial resources.

In recent years, in the system of state regulation attempts have been made to implement standards for the provision of medical services, but this work is complicated by the fact that it is impossible to develop common standards for all institutions of Ukraine due to their differences. Staffing and technological support of medical institutions are sometimes so different that the standards used in assessing the quality of medical institutions in one area may not be adapted to use in another area.

We can trace the evolution of views on the development of state regulation in the area of medical services in the fundamental works [1-4], most of which are devoted to the analysis of modern strategies. Transformational changes in the financing model in the area of medical services are described in the scientific works [5-10].

Over the last decade, the issues of finding ways to improve the state regulation of medical services, develop a policy in this area and provide quality medical services have been the subject of scientific studies [11-14].

Fundamental developments in the application of the principle of social justice of the state regulation of the provision of medical services to the population are considered in the works of such scientists as [15-17].

Of course, the availability of a large number of scientific works on this subject is indicative of its relevance, while the influence of the reforms of state

regulation of medical services is insufficiently discussed, which indicates the attitude of scientists to this problem as a secondary one and the lack of ability of the institutions themselves to consider this problem in the expert and scientific environment.

At the same time, despite the rather large total number of works on the problems of state regulation of medical services in Ukraine, in the context of increasing globalization, it is necessary to solve the scientific problems of clarification of the content and model of medical services, development of an approach to state regulation of the provision of medical service of appropriate quality and accessibility, definition of tools for synthesizing models of state regulation of medical services in Ukraine, development of methodological approaches to the creation of a single information and telecommunication system of state regulation of the market of medical services, improvement of the mechanism of formation of integrated operators in this market, development of an approach to estimating the cost of public medical services in Ukraine, development of a mechanism for state guarantee of medical services in conditions of limited financial resources, and development of an approach to forming a system to improve the efficiency and quality of medical services in Ukraine.

The need for theoretical, methodological and practical solutions to the outlined problems confirms the relevance of the article, its importance, scientific novelty, and determines the objective, tasks, subject and object of research, testing and practical implementation.

Objective

The objective of the study is to substantiate the theoretical and methodological principles, develop scientific and practical recommendations on improving the mechanisms of public administration for provision of medical services to the population in Ukraine.

The following tasks are set in accordance with the objective:

- to propose an approach to estimating the cost of public health services in Ukraine;
- to improve the approach to the formation of the system of improving the efficiency and quality of medical services in Ukraine.

Materials and methods

The theoretical basis of the study was the works of scientists, studies in the field of public administration, laws and regulations that establish the legal and

organizational foundations of public relations in the system of state regulation of medical services in Ukraine.

In accordance with the set tasks, there have been used such methods of study as synthesis, analysis, scientific abstraction – when specifying the categorical-conceptual framework of the study; system structural analysis – when developing conceptual principles of state regulation of the provision of medical services of appropriate quality and accessibility; discriminant analysis – when assessing the cost of public health services in Ukraine.

The information and factual basis of the study was the laws of Ukraine, decrees of the President of Ukraine, regulations of the Cabinet of Ministers of Ukraine; analytical materials of the Ministry of Health of Ukraine, reporting and analytical information of the State Statistics Service of Ukraine; analytical reviews of the World Bank, the European Investment Bank and other international financial organizations; results of scientific studies in the area of public administration of provision of medical services to the population in Ukraine.

Research results and discussion

Planning of work on quality control of medical services provides for formation of normative level of an integrated indicator of quality of medical services, possible intervals of its variation for the given institution and establishment of optimum levels of criteria of efficiency of medical divisions.

Carrying out of screening examination of technology of medical and diagnostic process allows to detect cases of deviations from normative level and to form lists of expert cases for carrying out examination of quality of provision of medical services.

The introduction of continuous automated screening examination of the technology of medical and diagnostic process in the practice of health care involves the need to formalize the information in the primary accounting documentation and create an automated medical history. Cloud automated processing of these documents and comparison of the information reflected in them with models of simple and complex medical services allow to define integrated normative indicators of an estimation of technology of medical and diagnostic process by types of medical and preventive institutions (hospital, polyclinic, day hospital, home care) throughout the territory.

In order to simplify and accelerate the use of screening examination of the technology of medical and diagnostic process in assessing the quality of medical services, forms of inpatient automated medical history and outpatient slip have been developed. According to these forms of documents the continuous

automated examination of technology of medical and diagnostic process on all cases of the address of patients both in a hospital, and in polyclinic is carried out. In the process of automated processing of epicrisis (they reflect the entire volume of medical and diagnostic care provided in the hospital) and outpatient slips (they reflect the entire volume of outpatient care) the taken diagnostic and therapeutic measures are compared with models for both primary and related diagnoses. As a result of such comparison coefficients of conformity of actually performed diagnostic and medical procedures and the ones, which are necessary according to the models, are determined, actually reached and optimum criteria of efficiency, and also results of treatment are estimated.

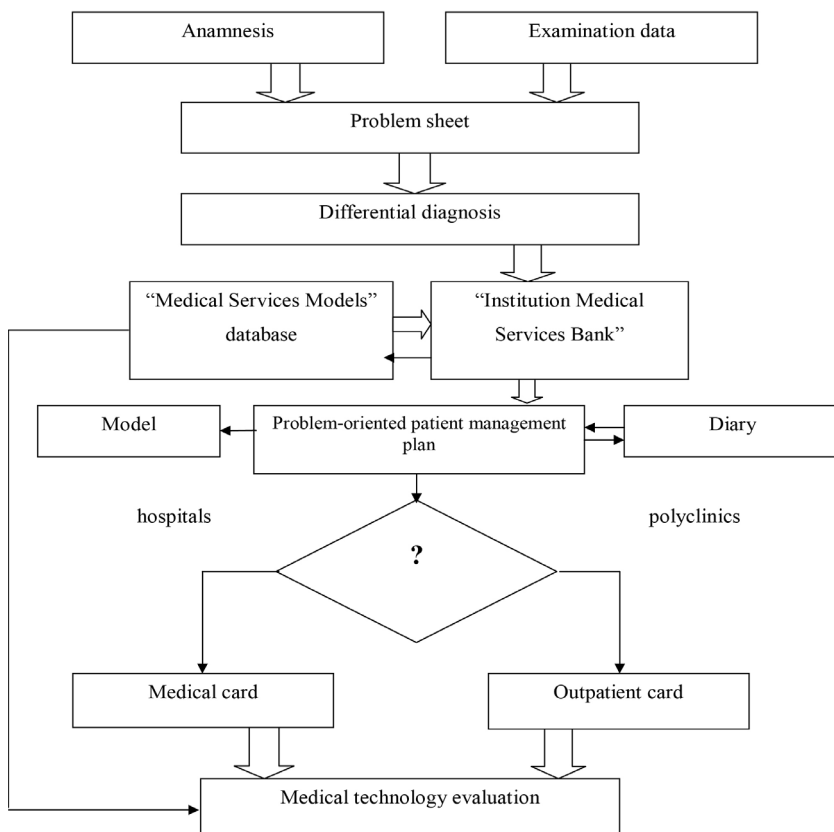


Fig. 1. Block diagram of screening examination of the technology of medical and diagnostic process

The formation of proposals for management influences includes the issuance of recommendations for the analysis of certain sections of the work, which characterize the quality of medical services.

The formation of expert characteristics occurs when analyzing data from the “inpatient medical cards” and “inpatient epicrisis” for hospitals and “outpatient cards” and “outpatient slips” for polyclinics and comparing them with the models of integrated medical services.

The block diagram of the screening examination of the technology of medical and diagnostic process is shown in Fig. 1.

The assessment consists of the analysis of: the condition of a patient at the time of admission; possibilities to ensure establishing correct diagnosis in treatment and prevention institutions (TPI) (resource assessment); the degree of possibility for the doctor to use resources for establishing diagnosis (qualification of the doctor, ability to choose the right methods and techniques of differential diagnostic, availability of equipment, etc.); methods, indicators that allow to register the objectivity of establishing correct diagnosis (expert assessments, the frequency of discrepancies between the diagnoses of the polyclinic, hospital and pathological anatomical diagnosis, change of diagnosis by the end of treatment, etc.); forecast of the outcome of patient management.

Such examination allows to collect statistical information on the actual amount of performed work regarding nosology and frontline workers, to identify possible deviations from the models that do not affect the effectiveness of treatment, to establish a regulatory level of an integrated indicator of quality of provision of medical services and to systematically adjust the models.

The formed results of screening examinations are expert cases requiring further examination with the participation of experts in the assessment of both medical technologies and material and human resources of the institution.

When selectively assessing the quality of medical care, an expert works with a list of defects identified in the provision of medical services, both for continuous and for selective examination. All identified defects are included in the table of defects in the provision of medical services of the “Act of expert opinion”.

The level of quality of patient care is set by the standards of organization of work of paramedics.

The validity of complaints of patients about violations of ethical and deontological relations is determined by supporting written documents (written complaints of patients).

Violation of the sanitary-epidemiological conditions are established by the relevant documentation of the sanitary and epidemiological authorities. The in-

validity of the refusal of medical care is determined by the relevant documents (written complaint of a patient about the refusal of a service).

Gross defects in execution of documentation, which affect the assessment of the condition of a patient, terms and results of treatment are determined by the requirements for filling and registration of medical records.

Inaccuracy of information in the accounting documentation is detected by interviewing patients, medical staff.

Unreasonable referral of a patient to the intensive care unit or lack of treatment in it if indicated are determined by an expert on the basis of analysis of medical history.

Assessment of cases of re-hospitalization is carried out by studying the previous and current medical history.

Duplication in the examination of planned patients is determined by the data recorded in a referral to the hospital and a medical history.

Assessment of the degree of completeness of the technology of medical and diagnostic process is carried out according to the models of integrated medical services. The mandatory minimum of standard examination and treatment means procedures, services with frequency of their application of 95-100%. Incomplete volume of examination and treatment is established by an expert taking into account the models and result of the disease.

At detection of defects of medical and diagnostic process of outpatient-poly-clinic link it is necessary to use the models of medical services of clinic and preventive care according to the described technique.

In case of non-compliance with the requirements for treatment results specified in the models, and/or non-compliance with the normative term of treatment, as well as in case of impossibility to provide it to the patient (death, unauthorized leave, etc.), payment for medical care is made at the actual cost, and with that:

- payment for medical care in case of unreasonable excessive delay of a patient in the hospital is not made;
- payment for the treatment of comorbidities of one system in the hospital is based on the actual costs in accordance with the provision on medical care quality control;
- payment for exceeding the terms of treatment for the underlying disease in connection with concomitant pathology is not made;
- payment for expensive medical services, as well as services that are not included in the model, is made at the actual cost of the institution only in cases of their validity and the presence of permission to perform them issued by the expert commission of the medical institution;

- payment for medical care to a patient hospitalized based on the conclusion of the expert commission of the relevant public health department in the absence of indications, is made with the consent of the insurer;
- the cost of treatment of complications, which were not diagnosed during treatment (in the hospital, polyclinic, day hospital) and lead to the need for a second course of treatment in the institution, are referred to the internal costs of the institution;
- treatment of complications not related to the technology of providing medical services and leading to re-hospitalization is paid on a general basis;
- the costs of the medical institution for the treatment of recurrences of the disease, which lead to re-hospitalization due to mistakes made during the previous provision of medical services, are referred to the internal costs of the medical institution.

The structure of the claim system for payment for medical services is shown in Fig. 2. Procedure of making bills for medical services and the procedure for presenting them for payment is as follows.

The analysis of compliance with the standards of medical technologies can only give an indirect assessment of one of the components of the quality of medical services – the implementation of the technology of medical and diagnostic process. The assessment of the work of a doctor in providing medical services is based on the comparison of the measures taken with the standards of medical technologies, which should be a list of mandatory diagnostic and therapeutic actions of the doctor in different nosological forms at a certain stage of treatment.

The assessment of the quality of provision of a medical service to a patient at all stages of treatment and diagnostic process is a time-consuming task that requires a single methodological approach. The use of only medical process standards, however detailed, does not allow to assess all the variety of pathological manifestations of a disease due to such individual characteristics of the patient as sex, age, the presence of comorbidities, intolerance to certain drugs, etc.

However, this does not exclude the possibility of a continuous automated screening examination allowing to obtain one of the elements of a comprehensive assessment of the quality of medical services at the initial stage of the examination and based on its results to form expert cases for examination with the involvement of experts.

Medical efficiency (effectiveness) is assessed by the following criteria: requirements for treatment results; achieving favorable results of treatment of a patient; discrepancy of outpatient, inpatient, pathological and anatomical diagnoses; presence of complications.

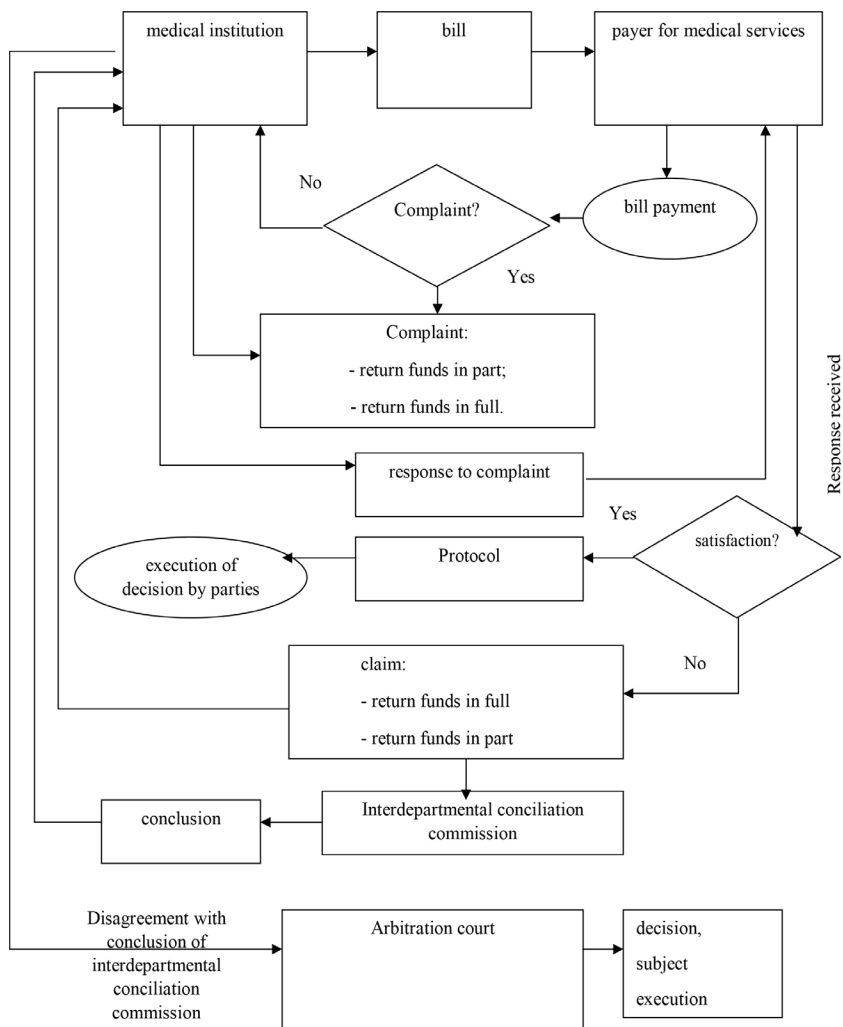


Fig. 2. Algorithm of the claim system for payment for medical services

Achieving optimal results of inpatient treatment involves the possibility of discharging the patient for work or outpatient treatment. The objectivity of assessment is achieved due to the availability of developed classifiers containing criteria for treatment outcomes and models of integrated medical services.

The discrepancy of diagnoses is established based on the data of outpatient and inpatient services and separately based on clinical and pathological-anatomical diagnosis. Both complete and partial discrepancies are determined, and penalty points are assigned depending on them.

When establishing fines for complications (including postoperative) and the fault of medical workers, in their occurrence, it is necessary to take into account factors that depend on the activities of a doctor. The latter may include the specifics of a disease, age, severity of the condition of patient, the term of medical treatment.

Thus, the analysis of methods of payment for medical care demonstrated that there is neither an ideal nor the worst method of payment for medical care, but there is a better method in these conditions and for specific purposes. Each method affects economic efficiency differently, and regulated competition between providers of medical services enhances the positive effect of any payment method.

Conclusion

The assessment of the quality of provision of a medical service to a patient at all stages of treatment and diagnostic process is a time-consuming task that requires a single methodological approach. The use of only medical process standards, however detailed, does not allow to assess all the variety of pathological manifestations of a disease due to such individual characteristics of the patient as sex, age, the presence of comorbidities, intolerance to certain drugs, etc.

But this does not exclude the possibility of a continuous automated screening examination allowing to obtain one of the elements of a comprehensive assessment of the quality of medical services at the initial stage of the examination and based on its results to form expert cases for examination with the involvement of experts. There has been developed an approach to the formation of a system to improve the efficiency and quality of medical services in Ukraine, namely: introduction of the institute of public-private partnership, which is based on the project approach, budget planning and organizational and economic tools; use of screening expert examination technology of medical and diagnostic process according to the models of medical services.

References

1. Berwick D., Fox D.M. "Evaluating the quality of medical care": Donabedian's classic article 50 years later. *The Milbank Quarterly*, 2016, vol. 94, no. 2, pp. 237. <https://doi.org/10.1111/1468-0009.12189>

2. Salnikova N.A., Lempert B.A., Lempert M.B. Integration of methods to quantify the quality of medical care in the automated processing systems of medical and economic information. *Creativity in Intelligent Technologies and Data Science. Communications in Computer and Information Science*, 2015, vol. 535, pp. 307-319. https://doi.org/10.1007/978-3-319-23766-4_25
3. Cook D.A., Reed D.A. Appraising the quality of medical education research methods: the medical education research study quality instrument and the Newcastle–Ottawa scale-education. *Academic Medicine*, 2015, vol. 90, no. 8, pp. 1067-1076. <https://doi.org/10.1097/ACM.0000000000000786>
4. Mell H.K., Mumma S.N., Hiestand B., Carr B.G., Holland T., Stopyra J. Emergency medical services response times in rural, suburban, and urban areas. *JAMA surgery*, 2017, vol. 152, no. 10, pp. 983-984. <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2017.2230>
5. Meesala A., Paul J. Service quality, consumer satisfaction and loyalty in hospitals: Thinking for the future. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 2018, vol. 40, pp. 261-269. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2016.10.011>
6. Brownlee S., Chalkidou K., Doust J., Elshaug A.G., Glasziou P., Heath I., ... Korenstein D. Evidence for overuse of medical services around the world. *The Lancet*, 2017, vol. 390, no. 10090, pp. 156-168. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)32585-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)32585-5)
7. Lewis M.A., Lewis C.E., Leake B., King B.H., Lindeman R. The quality of health care for adults with developmental disabilities. *Public health reports*, 2002, vol. 117, no. 2. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1093/phr/117.2.174>
8. Claesson A., Bäckman A., Ringh M., Svensson L., Nordberg P., Djäv T., Hollenberg J. Time to delivery of an automated external defibrillator using a drone for simulated out-of-hospital cardiac arrests vs emergency medical services. *Jama*, 2017, vol. 317, no. 22, pp. 2332-2334. <https://doi.org/10.1001/jama.2017.3957>
9. Sweeney J.C., Danaher T.S., McColl-Kennedy J.R. Customer effort in value co-creation activities: Improving quality of life and behavioral intentions of health care customers. *Journal of Service Research*, 2015, vol. 18, no. 3, pp. 318-335. <https://doi.org/10.1177/1094670515572128>
10. Mould-Millman N.K., Dixon J.M., Sefa N., Yancey A., Hollong B.G., Hagahmed M., ... Wallis L.A. The state of emergency medical services (EMS) systems in Africa. *Prehospital and disaster medicine*, 2017, vol. 32, no. 3, pp. 273-283. <https://doi.org/10.1017/s1049023x17000061>

11. Tsai T.C., Orav E.J., Jha A.K. Patient satisfaction and quality of surgical care in US hospitals. *Annals of surgery*, 2015, vol. 261, no. 1, pp. 2-8. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000000765>
12. Millenson M.L. Demanding medical excellence: Doctors and accountability in the information age. University of Chicago Press, 2018.
13. Arai H., Ouchi Y., Toba K., Endo T., Shimokado K., Tsubota K., ... Rakugi H. Japan as the front-runner of super-aged societies: Perspectives from medicine and medical care in Japan. *Geriatrics & gerontology international*, 2015, vol. 15, no. 6, pp. 673-687. <https://doi.org/10.1111/ggi.12450>
14. Dummit L.A., Kahvecioglu D., Marrufo G., Rajkumar R., Marshall J., Tan E., ... Hassol A. Association between hospital participation in a Medicare bundled payment initiative and payments and quality outcomes for lower extremity joint replacement episodes. *Jama*, 2016, vol. 316, no. 12, pp. 1267-1278. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.12717>
15. Ahmad M.M., Al-Daken L.I.L., Ahmad H.M. Quality of life for patients in medical–surgical wards. *Clinical Nursing Research*, 2015, vol. 24, no. 4, pp. 375-387. <https://doi.org/10.1177/1054773813519470>
16. Aidala A.A., Wilson M.G., Shubert V., Gogolishvili D., Globerman J., Rueda S., ... Rourke S.B. Housing status, medical care, and health outcomes among people living with HIV/AIDS: a systematic review. *American journal of public health*, 2016, vol. 106, no. 1, pp. e1-e23. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2015.302905>
17. Wu H.T., Huang J., Shi Y.Q. A reversible data hiding method with contrast enhancement for medical images. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 2015, vol. 31, pp. 146-153. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2015.06.010>

DATA ABOUT THE AUTHORS

Olena Karpenko, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor

Dragomanov National Pedagogical University

9, Pyrohova Str., Kyiv, 01601, Ukraine

karp513@ukr.net

ORCID: 0000-0002-6715-2899

Svitlana Stavytska, Doctor of Psychological Sciences, Professor

Dragomanov National Pedagogical University

9, Pyrohova Str., Kyiv, 01601, Ukraine

stavytska@i.ua

ORCID: 0000-0003-0800-0876

Inna Artemenko, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor
Dragomanov National Pedagogical University
9, Pyrohova Str., Kyiv, 01601, Ukraine
aart@ukr.net
ORCID: 0000-0001-5633-0234

Iryna Sidanich, Dr. hab. of Pedagogical Sciences, Professor
University of Educational Management
52A, Sichovykh Striltsiv Str., Kyiv, Ukraine
iryda61@ukr.net
ORCID: 0000-0002-2992-3808

Iryna Prozhoha, PhD in Economics, Associate Professor
National Aviation University
1, Liubomyra Huzara Ave., Kyiv, 03058, Ukraine
irproz_13@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4991-8317

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-77-99

УДК 159.9:796

ПСИХОЛОГИЧЕСКОЕ ЗДОРОВЬЕ СПОРТСМЕНОВ В ПЕРИОД ПАНДЕМИИ COVID-2019

*П.А. Кисляков, М.С. Белов,
Н.П. Константинова*

Обоснование. *Массовая самоизоляция в период пандемии COVID-19 оказала существенное влияние на спортивную деятельность, и как следствие, на психологическое здоровье спортсменов. Основные последствия для психологического здоровья спортсменов связаны в первую очередь с психосоматическими и психоэмоциональными расстройствами.*

Цель *исследования состояла в выявлении особенностей психологического здоровья спортсменов в период пандемии COVID-2019.*

Материалы и методы. *Выборку составили 419 спортсменов в возрасте от 18 до 30 лет, проживающих в различных регионах России. Исследование проводилось с использованием специально разработанной анкеты, включающей вопросы об особенностях организации тренировочного процесса в период пандемии, о дальнейших спортивных планах, о психосоматических и психоэмоциональных особенностях, вызванных вследствие отмены спортивных тренировок и соревнований. Также использовалась стандартизированная методика «Самочувствие, активность, настроение – САН» (В.А. Доскин, Н.А. Лаврентьева, В.Б. Шарай и М.П. Мирошников).*

Результаты. *Проведенное исследование выявило закономерность, состоящую в том, что поддержка оптимальной физической формы в период пандемии COVID-19 позволяет предупреждать негативные психосоматические и психоэмоциональные проявления, обеспечивая субъективное ощущение благоприятного физиологического и психологического состояния. Адаптивный копинг принятия спортсменами ситуации и самоконтроля прямо коррелирует с поддержкой оптимальной физической формы в период пандемии COVID-19 и, как следствие, с позитивными спортивными планами.*

Заключение. *Полученные результаты подтверждают, что поддержание регулярной физической активности является важной профилактической стратегией для физического и психологического здоровья во время вынужденной самоизоляции.*

Ключевые слова: психологическое здоровье; спортсмены; спортивная форма; пандемия COVID-2019; психосоматические показатели; психоэмоциональные показатели; копинг

Для цитирования. Кисляков П.А., Белов М.С., Константинова Н.П. Психологическое здоровье спортсменов в период пандемии COVID-2019 // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 2. С. 77-99. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-77-99

PSYCHOLOGICAL HEALTH OF ATHLETES DURING THE COVID-2019 PANDEMIC

P.A. Kislyakov, M.S. Belov, N.P. Konstantinova

Background. Mass lockdown during the COVID-19 pandemic deeply influenced sports activities and consequently psychological health of athletes. The main consequences for the psychological health of athletes are primarily associated with psychosomatic and psycho-emotional disorders.

Purpose of the study was to identify the characteristics of the psychological health of athletes during the COVID-2019 pandemic.

Materials and methods. The group of respondents consisted of 419 athletes aged 18 to 30, living in various regions of Russia. The study was carried out using a specially developed questionnaire, including questions about particularities of organization of the training process during the pandemic, about further sports plans, about psychosomatic and psycho-emotional characteristics caused by the cancellation of sports training and competitions. We also used the standardized method "Well-being, activity, mood – SAN" (V.A. Doskin, N.A. Lavrentyeva, V.B. Sharai and M.P. Miroshnikov).

Results. The study revealed a consistent pattern that maintaining optimal physical shape during the COVID-19 pandemic prevents negative psychosomatic and psycho-emotional manifestations, providing a subjective feeling of a favorable physiological and psychological state. Adaptive coping of athletes' acceptance of the situation and self-control directly correlates with maintaining optimal physical shape during the COVID-19 pandemic and, as a result, with positive sports plans.

Conclusion. The results confirm that maintaining regular physical activity is an important preventive strategy for physical and psychological health during forced self-isolation.

Keywords: psychological health; athletes; physical shape; COVID-19 pandemic; psychosomatic characteristics; psycho-emotional characteristics; coping

***For citation.** Kislyakov P.A., Belov M.S., Konstantinova N.P. Psychological health of athletes during the COVID-2019 pandemic. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 77-99. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-77-99*

Введение

Превентивные меры, связанные с пандемией коронавируса COVID-19, затронули все сферы жизни общества и все сектора мировой экономики [5, 32]. Стремительное распространение новой коронавирусной инфекции повлияло на введение необходимых ограничений и запретов, прежде всего, на массовые мероприятия с большим скоплением людей, что привело к беспрецедентным последствиям. В кратчайшие сроки были разработаны меры предосторожности от инфицирования и рекомендации по сохранению двигательной активности в период самоизоляции [12]. В группе риска оказались спортсмены, поэтому были приостановлены все соревнования, физкультурно-спортивные мероприятия и тренировки. Период строгой самоизоляции серьёзно повлиял на спортивную деятельность, для которой характерна высокая ответственность, стремление к высшим достижениям и высокое психофизиологическое напряжение. Социальная изоляция, закрытие спортивных комплексов, запреты на учебно-тренировочные мероприятия, в том числе ходьбу и бег на свежем воздухе, проведение соревнований (включая Олимпийские игры 2020 года) не обошли стороной, как профессиональные спортивные команды, так и спортсменов любителей по всему миру во всех видах спорта.

Пандемия COVID-19 по-разному повлияла на спортсменов, их привычный режим и организацию спортивных мероприятий, привела к ряду проблем, как технических, так и психологических. Основные последствия для психологического здоровья спортсменов связаны в первую очередь со стрессом, тревогой и депрессией. Есть очевидные проблемы, связанные с ситуацией неопределенности и беспокойством по поводу тренировочного периода, отсутствием информации о будущем спортивном календаре, о поддержании высшей спортивной формы. Страх перед поездками и связанные с этим риски заражения, возможные соревнования без зрителей, опасность общей перестройки спортивной жизни и другие проблемы являются предпосылками для ухудшения психологического здоровья [26, 31, 33, 39, 41].

Данной проблеме посвящены научные труды отечественных и зарубежных авторов по изучению вопросов влияния ограничительных мер, связанных с пандемией COVID-19, на физическую работоспособность и психологическое самочувствие спортсменов [4, 8, 16, 17, 27, 30] их спор-

тивные планы и карьеру [3], поведенческие изменения [14, 25], предпочтительные копинговые стратегии [33].

Проведенные в различных странах исследования показали, что в результате карантинных мер и длительных перерывов в физической активности значительно возросли риски ухудшения самочувствия, возникновения депрессивных состояний и появления психических расстройств у спортсменов. Длительная самоизоляция оказала негативное влияние на психологическую реакцию, способствуя развитию симптомов посттравматического стресса, спутанности сознания и тревоги [23]. Плохое самочувствие в психологическом отношении достаточно распространенное явление в период пандемии [5, 30]. Строгая самоизоляция привела к дестабилизации учебно-тренировочного процесса, а также межличностных отношений спортсменов и тренеров [19]. Кроме этого, карантин привел к гиподинамии, что способствовало неблагоприятным изменениям физического здоровья, таким как преждевременное старение, ожирение, сердечно-сосудистая уязвимость, атрофия мышц, потеря костной массы и снижение аэробных возможностей [41, 43].

Установлено, что спортсмены, которые полностью прекратили занятия или уменьшили свои физические нагрузки во время пандемии, сообщили о значительном ухудшении самочувствия по сравнению со спортсменами, которые продолжили активно тренироваться [38].

Борьба с пандемией требует пристального внимания мирового научного сообщества психологов, вирусологов, иммунологов, эпидемиологов, спортивных специалистов и проведения междисциплинарных исследований с разработкой практических рекомендаций [32]. Необходимо детально исследовать угрозы, отрицательные долгосрочные последствия кризиса COVID-19 на спортивную деятельность для своевременной разработки мер и путей их преодоления, психологически безопасного спортивного поведения в пандемический и постпандемический период.

Цель данного исследования состояла в выявлении особенностей психологического здоровья спортсменов в период пандемии COVID-2019.

При этом под психологическим здоровьем мы понимаем динамическую совокупность психических характеристик (психосоматических, психоэмоциональных, потребностно-мотивационных), позволяющих человеку сохранять устойчивость в изменяющейся окружающей среде и способствующих его благополучию и самореализации [1, 11, 15]. Проведенные исследования показали, что психологическое здоровье спортсмена обеспечивает адекватную условиям окружающей действительности регу-

лянию своего состояния и поведения и является предопределяющим фактором спортивной деятельности. Психологическое здоровье спортсмена детерминировано психосоматическим состоянием, способностью к психической саморегуляции, эмоционально-волевыми качествами, адаптационными способностями, моральными качествами, смысложизненными ориентациями [9, 13, 22, 28, 29].

Материалы и методы исследования

Выборку составили 419 спортсменов в возрасте от 18 до 30 лет, проживающих в различных регионах России; 54,5% – мужчины, 45,5% – женщины; спортивный стаж от 1 до 20 лет; командные виды спорта (волейбол, баскетбол, футбол) – 34%, индивидуальные виды спорта (легкая атлетика, шахматы, настольный теннис, лыжный спорт, пауэрлифтинг) – 66%.

Исследование проводилось с использованием специально разработанной анкеты, включающей вопросы об особенностях организации тренировочного процесса в период пандемии, о дальнейших спортивных планах, о психосоматических и психоэмоциональных особенностях, вызванных вследствие отмены спортивных тренировок и соревнований. Ответы на вопросы имели пятибалльную шкалу (от 1 – «не согласен», до 5 – «полностью согласен»). Для определения внутренней надежности – согласованности опросника рассчитывался α -Кронбаха. В целом опросник продемонстрировал высокую согласованность ($\alpha = 0,836$).

Для оценки психического состояния (психологического здоровья) также использовалась стандартизированная методика «Самочувствие, активность, настроение – САН» (В.А. Доскин, Н.А. Лаврентьева, В.Б. Шарай и М.П. Мирошников). Методика имеет три шкалы: самочувствие (субъективные ощущения, отражающие степень физиологического и психологического состояния человека), активность (интенсивность и объем взаимодействия человека с физической и социальной средой), настроение (эмоциональная реакция человека на воздействия и события в контексте жизненных планов и интересов). По каждой шкале устанавливается степень психического состояния: неблагоприятное (ниже 4-х баллов), благоприятное, но изменчивое (4-5 баллов), благоприятное (больше 5-ти баллов).

Исследование проводилось в сентябре 2020 года. На этот момент во всех регионах России на протяжении 5 месяцев действовали ограничительные противоэпидемиологические меры, в частности, запрещены спортивные тренировки и соревнования. Данные собирались с помощью интернета на сервисе «Google Forms». Полученные ответы обрабаты-

лись с использованием качественных и количественных методов анализа с использованием пакета статистических программ SPSS 23.

Результаты исследования

Результаты диагностики самооценки спортивной формы и показателей психологического здоровья спортсменов в период пандемии COVID-2019, выраженные в психосоматических и психоэмоциональных особенностях, представлены в таблице 1 и на рисунках 1-4.

Таблица 1.

Описательные статистики показателей психологического здоровья спортсменов в период пандемии COVID-2019

Показатели/шкалы	Среднее значение	Стандартное отклонение
Спортивная форма		
Вам удавалось/удается поддерживать оптимальную физическую форму в период пандемии COVID-19 несмотря на ограничения и запреты	2,87	1,04
Психосоматические и психоэмоциональные показатели психического здоровья		
Когда в связи с пандемией COVID-19 запретили все официальные соревнования и тренировки Вы испытывали:		
Апатию, опустошенность	3,30	1,56
Злобу, раздражение, гнев	2,91	1,56
Спокойствие, с пониманием воспринял ограничительные меры	3,70	1,38
Радость, можно отдохнуть от тренировок и соревнований	2,04	1,33
В период пандемии COVID-19 Вы обнаруживали у себя:		
Колебание настроения	3,41	1,73
Отсутствие аппетита	2,43	1,57
Головную боль	2,56	1,54
Чувство страха смерти	1,61	1,15
Ощущение упадка сил	2,90	1,64
Бессонницу	2,49	1,64
Снижение памяти	2,17	1,55
Беспокойство	2,59	1,58
Учащенное сердцебиение	1,92	1,37
Затруднение дыхания	1,69	1,20
САН		
Шкала «Самочувствие»	5,03	1,28
Шкала «Активность»	4,88	1,15
Шкала «Настроение»	5,10	1,33

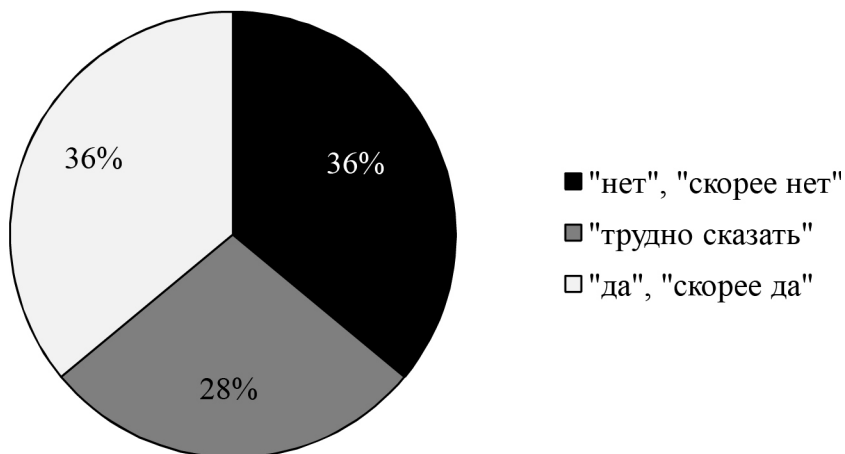


Рис. 1. Распределение респондентов по самооценке спортивной формы в период пандемии COVID-19 («Вам удалось/удается поддерживать оптимальную физическую форму?»), %

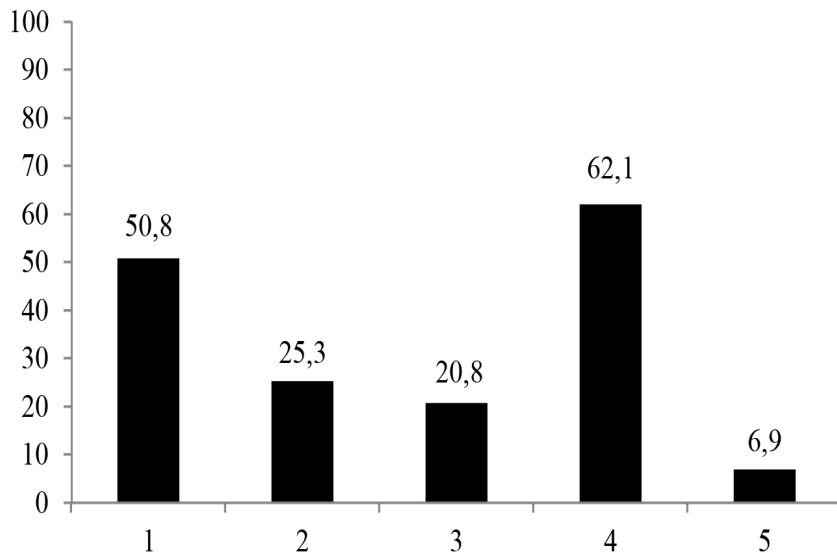
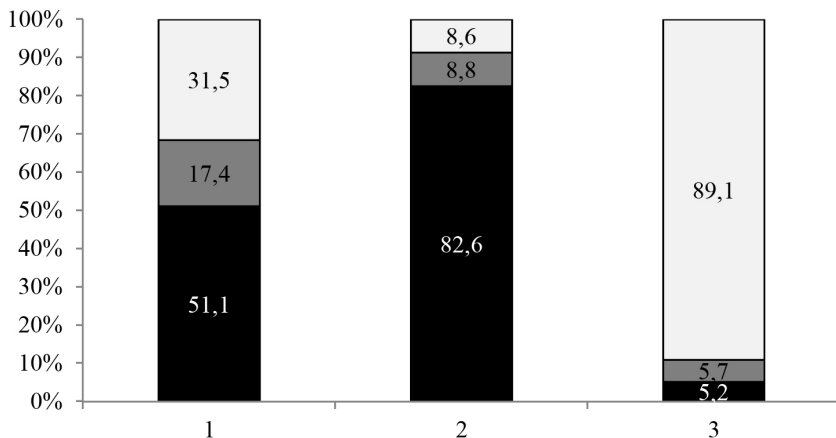


Рис. 2. Распределение респондентов по месту тренировки в условиях ограничений в период пандемии COVID-19, %

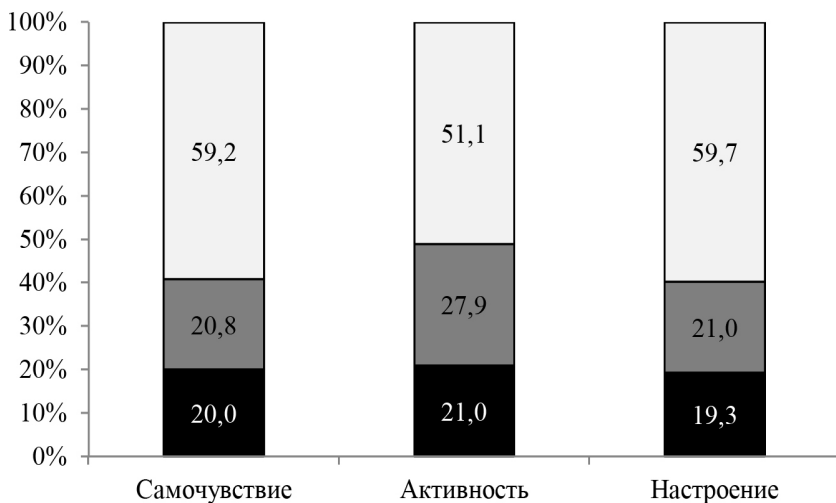
Примечание: 1. В спортивном зале / на стадионе / в бассейне; 2. В парке; 3. В безлюдном месте (за городом, в лесу); 4. Дома; 5. Не тренировался



□ "да", "скорее да" ■ "затрудняюсь ответить" ■ "нет", "скорее нет"

Рис. 3. Распределение респондентов относительно спортивных планов, %

Примечание: 1. «Долгожданный разряд или норматив теперь никогда не выполнить, а призовое место не занять»; 2. «Годы тренировок, всё пропало, буду бросать занятия спортом»; 3. «Буду тренироваться и ждать ближайших соревнований»



□ Благоприятное ■ Благоприятное, изменчивое ■ Неблагоприятн

Рис. 4. Распределение респондентов по психическому состоянию по методике САН, %

С целью изучения влияния переменных «пол», «населенный пункт» (региональный центр/малый город), «вид спорта» (командный/индивидуальный), «социальное поведение» (соблюдение социальной дистанции) на показатели психологического здоровья и спортивного поведения в период пандемии COVID-19 нами было проведено парное сравнение соответствующих групп с использованием критерия U-Манна-Уитни. Статистические значимы различия удалось установить только у мужчин и женщин по показателям психологического здоровья (таблица 2).

Таблица 2.

Сравнение спортсменов мужчин и женщин по показателям психологического здоровья в период пандемии COVID-19

Показатели / шкалы	Средний ранг		U-Манна-Уитни	P
	Мужчины (n = 229)	Женщины (n = 190)		
Когда в связи с пандемией COVID-19 запретили все официальные соревнования и тренировки Вы испытывали:				соре-
Апатию, опустошенность	209,59	210,49	21661,5	0,938
Злобу, раздражение, гнев	209,65	210,42	21675	0,947
Спокойствие, с пониманием воспринял ограничительные меры	203,35	218,02	20232	0,197
Радость, можно отдохнуть от тренировок и соревнований	194,53	228,64	18213,5	0,002
В период пандемии COVID-19 Вы обнаруживали у себя:				
Колебание настроения	180,54	245,51	15008	< 0,001
Отсутствие аппетита	187,58	237,02	16620,5	< 0,001
Головную боль	178,18	248,35	14468	< 0,001
Чувство страха смерти	200,60	221,32	19603,5	0,028
Ощущение упадка сил	181,34	244,55	15191	< 0,001
Бессонницу	195,17	227,87	18359	0,004
Снижение памяти	188,83	235,52	16906	< 0,001
Беспокойство	182,99	242,56	15569	< 0,001
Учащенное сердцебиение	192,79	230,74	17815	< 0,001
Затруднение дыхания	198,13	224,31	19036	0,008
САН				
Шкала «Самочувствие»	231,43	184,17	16846,5	< 0,001
Шкала «Активность»	220,80	196,98	19281,5	0,045
Шкала «Настроение»	231,55	184,02	16819	< 0,001

Для выявления взаимосвязи между показателями психологического здоровья и сохранения спортивной формы в период пандемии COVID-19 был проведен корреляционный анализ Спирмана (таблица 3, рис. 5).

Таблица 3.

Корреляционные связи между показателями психологического здоровья и сохранения спортивной формы в период пандемии COVID-19 (ранговая корреляция Спирмана)

Показатели/Шкалы	Спортивная форма	Позитивные спортивные планы	Планы ухода из спорта	Сожаление об упущенных возможностях
Апатию, опустошенность	-0,117*	0,067*	0,199***	0,331***
Злобу, раздражение, гнев	-0,147**	0,047*	0,272***	0,351***
Спокойствие, с пониманием воспринял ограничительные меры	0,249***	0,132*	-0,111*	-0,217***
Радость, можно отдохнуть от тренировок и соревнований	-0,143*	-0,113*	0,202***	0,064*
Колебание настроения	-0,293***	-0,028*	0,125*	0,166**
Отсутствие аппетита	-0,227***	-0,092	0,176***	0,205***
Головную боль	-0,289***	-0,108*	0,129**	0,134**
Чувство страха смерти	-0,106*	-0,128**	0,165**	0,113*
Ощущение упадка сил	-0,376***	-0,097*	0,155**	0,157**
Бессонницу	-0,237***	-0,104*	0,118*	0,09*
Снижение памяти	-0,296***	-0,181***	0,206***	0,215***
Беспокойство	-0,25***	-0,128**	0,152**	0,165**
Учащенное сердцебиение	-0,138**	-0,142**	0,197***	0,152**
Затруднение дыхания	-0,132**	-0,112*	0,196***	0,163**
Шкала «Самочувствие»	0,378***	0,317***	-0,235***	-0,17***
Шкала «Активность»	0,44***	0,336***	-0,176***	-0,155***
Шкала «Настроение»	0,308***	0,277***	-0,248***	-0,198***

Примечание: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$



Рис. 5. Корреляционная плеяда показателей психологического здоровья, влияющих на сохранения спортивной формы в период пандемии COVID-19 (Корреляция Спирмана, уровень значимости $p < 0.05$; «—» – прямая корреляция, «----» – обратная корреляция)

Обсуждение

Проведенное исследование показало, что только трети спортсменам (36%) удалось систематически тренироваться и в полной мере сохранить физическую форму во время ограничительных мер в период пандемии COVID-2019. При этом большинство респондентов тренировалось дома (62,1%) и/или на спортивных объектах (спортивный зал, стадион, бассейн) (50,8%). Несмотря на внесение изменений в тренировочный процесс, в связи с ограничительными мерами по предупреждению распространения коронавирусной инфекции COVID-2019, большинство респондентов не планируют уход из спорта (82,6%) и нацелены на участие в ближайших соревнованиях (89,1%). Вместе с тем, половина спортсменов (48,9%) в той или иной степени отмечает упущенные спортивные достижения (выполнение норматива или занятие призового места). Что в свою очередь является психотравмирующей ситуацией.

Описывая состояние своего психологического здоровья, в период, когда в связи с пандемией COVID-19 запретили все официальные соревнования и тренировки, спортсмены указывали на наличие у них негативных психоэмоциональных и психосоматических проявлений (апатия, опустошенность – 56,4%; злость, раздражение, гнев – 44,4%; колебание настроения – 28,8%; чувство страха смерти – 3,1%; беспокойство – 13,7%; отсутствие аппетита – 10,8%; головная боль – 11,4%; ощущение упадка сил – 18,4%; бессонница – 14%; снижение памяти – 10,5%; учащенное сердцебиение – 6,5%, затруднение дыхания – 3,5%).

Результаты психодиагностики по методике «Самочувствие, активность, настроение – САН» показали, что около 60% респондентов оценивают свое психическое состояние (психологическое здоровье) в целом как благоприятное (самочувствие – 59,2%, активность – 51,1%, настроение – 59,7%), около 20% – как неблагоприятное и около 20% – как изменчивое.

Полученные данные согласуются с рядом исследований, обнаруживших наличие в период пандемии COVID-19 значимых сдвигов по показателям психологического благополучия у спортсменов [3, 4, 8, 14, 18, 19, 21, 30]. При этом психоэмоциональные и психосоматические реакции спортсменов довольно разнообразны: есть те, кто демонстрирует явные признаки психологического неблагополучия, а также те, кто успешно справился с психотравмирующей ситуацией социальной изоляции, неопределенности, угрозы жизни и здоровья. В результате сдвиги в разные стороны психологического здоровья усредняются по групповым показателям.

Выявленное различие психоэмоционального и психосоматического переживания пандемического стресса у спортсменов мужчины и женщин согласуется с положениями гендерной психологии и психологической безопасности. Так, женщины хуже справляются с эмоциональными проблемами и возникающими трудностями, более болезненно, чем мужчины, реагируют на социальные конфликты, испытывая подавленность, навязчиво фокусируясь на проблеме и увеличивая свою уязвимость по отношению к стресс-фактору [2, 7, 40].

Проведенный корреляционный анализ выявил закономерность, состоящую в том, что поддержка оптимальной физической формы в период пандемии COVID-19 позволяет предупреждать негативные психосоматические и психоэмоциональные проявления, обеспечивая субъективное ощущение благоприятного физиологического и психологического состояния.

Важно понимать, как пандемический стресс влияет на восприятие сложившейся ситуации и поведенческую динамику и какие способы совладания (копинги) выбирают спортсмены в условиях ограничений спортивной деятельности и социальной изоляции [6, 10, 33, 42]. Проведенное исследование показало, что две трети спортсменов (68,5%) спокойно и с пониманием восприняли ограничительные меры, что можно считать адаптивным копингом самоконтроля; каждый пятый спортсмен (21,7%) отметил, что испытывал радость, связанную с возможностью отдохнуть от тренировок и соревнований, которую можно связать с неадаптивным копингом бегства-избегания. Статистический анализ полученных данных позволил установить, что адаптивный копинг принятия ситуации и самоконтроля прямо коррелирует с поддержкой спортсменом оптимальной физической формы в период пандемии COVID-19 ($r = 0,249, p < 0,001$) и, как следствие, с позитивными спортивными планами ($r = 0,132, p < 0,05$); неадаптивный же копинг бегства-избегания обратно коррелирует с поддержкой спортсменом оптимальной физической формы в период пандемии COVID-19 ($r = -0,143, p < 0,05$) и, как следствие, связан с планами ухода из спорта ($r = 0,202, p < 0,001$).

Заключение

Многочисленными исследованиями доказано, что физическая активность оказывает положительное влияние на психологическое здоровье, повышая самооценку и устойчивость к стрессу, а также уменьшая депрессию и тревогу [20, 24, 34, 35, 36, 37]. Хотя большинство спортсменов и продолжали тренироваться во время пандемии, несмотря на ограничи-

тельные меры, в том числе выполняя упражнения на дому и изолируясь в лесопарковой зоне за пределами города, у многих из них прослеживалось снижение тренировочных нагрузок, что отрицательно сказалось на их психологическом здоровье. Проведенное исследование показало, что поддержание регулярной физической активности является важной профилактической стратегией для физического и психического здоровья во время вынужденной самоизоляции, подобного нынешнему чрезвычайному положению с коронавирусом.

Положительное влияние регулярных физических нагрузок на психологическое здоровье спортсменов неоспоримо. Регулярные физические упражнения повышают самооценку и хорошее самочувствие. Лица, регулярно занимающиеся физическими упражнениями, проявляют меньше депрессивных и тревожных симптомов, что подтверждает концепцию о том, что физическая активность оказывает благоприятное влияние на предупреждение развития психических расстройств. В заключении отметим, что анализ всех последствий, вызванных эпидемией COVID-19, представляет собой актуальный предмет исследований ещё на протяжении нескольких десятилетий.

Список литературы

1. Ананьев В.А. Основы психологии здоровья. Книга 1. Концептуальные основы психологии здоровья. СПб.: Речь, 2006. 384 с.
2. Ильин Е.П. Дифференциальная психофизиология мужчины и женщины. Санкт-Петербург: Питер, 2002. 544 с.
3. Ильина Н.Л. Парадигмальные «заблуждения» спортсменов в период ограничений, вызванных пандемией // Петербургский психологический журнал. 2020. № 32. С. 58-70. <https://ppj.spbpo.ru/psy/article/view/287>
4. Кавешникова Е.Б. Психологическая помощь профессиональным спортсменам в период пандемии с учетом их индивидуально-типологических особенностей // Инновации. Наука. Образование. 2020. № 14. С. 828-833.
5. Кисляков П.А. Психологическая устойчивость студенческой молодежи к информационному стрессу в условиях пандемии COVID-19 // Перспективы науки и образования. 2020. № 5 (47). С. 343-356. <https://doi.org/10.32744/pse.2020.5.24>
6. Кисляков П.А., Пчелинова В.В., Корнев А.В., Карпова Н.В. Социально-психологическая безопасность студентов-спортсменов с ограниченными возможностями здоровья // Теория и практика физической культуры. 2019. № 5. С. 47-49.

7. Лихтенштейн В.И., Конашков В.В. Психология безопасности труда: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2013. 134 с.
8. Лямзин Е.Н., Сплендер В.В., Ботоногов А.С. Переживание профессиональными спортсменами и спортсменами – любителями психологического стресса, вызванного ограничительными мерами из-за COVID-19 // Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции «Инновационные механизмы и стратегические приоритеты научно-технического развития» (Волгоград, 19.08.2020 г.). Стерлитамак: ООО «Агентство международных исследований», 2020. С. 56-60.
9. Мерзлякова Д.Р. Исследование влияния биоритмов и физической нагрузки на процесс сохранения психологического здоровья спортсменов-подростков // Вопросы психического здоровья детей и подростков. 2020. Т. 20. № 2. С. 77-81.
10. Поляков Е.А., Кисляков П.А., Сенкевич Л.В., Бычкова Л.А. Психологическое консультирование спортсменов в трудных жизненных ситуациях // Теория и практика физической культуры. 2017. № 4. С. 32-34.
11. Психическое здоровье детей и подростков в контексте психологической службы / под ред. И.В. Дубровиной. Екатеринбург: Деловая книга, 2000. 176 с.
12. Рекомендации ВОЗ по вопросам физической активности и малоподвижного образа жизни: краткий обзор. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/337001/9789240014909-rus.pdf> (дата обращения 20.10.2020)
13. Самойлов Н.Г., Алёшичева А.В. Современные представления о состоянии психологического здоровья спортсменов // Спортивный психолог. 2016. № 4 (43). С. 4-11. <http://sportfiction.ru/articles/sovremennye-predstavleniya-o-sostoyanii-psikhologicheskogo-zdorovya-sportsmenov/>
14. Фукин А.И., Трусова Л.А. Отношение студентов – спортсменов к пандемии коронавирусной инфекции COVID-19 // Сборник статей VI Всероссийской научно-практической конференции «Бехтерев и современная психология личности» (Казань, 02-04 октября 2020 г.). Казань: НОУ ДПО «Центр социально-гуманитарного образования», 2020. С. 78-79.
15. Шувалов А.В. Психологическое здоровье человека // Вестник Православного Свято-Тихоновского гуманитарного университета. Серия IV: Педагогика. Психология. 2009. №4(15). С. 87-101. <https://pstgu.ru/download/1264506230.shuvalov.pdf>
16. Alsalhe, T.A., Aljaloud, S.O., Chalhaf, N., Guelmami, N., Alhazza, D.W., Azaiez, F., Bragazzi, N.L. Moderation effect of physical activity on the relationship between fear of COVID-19 and general distress: A pilot case study in

- Arabic countries // *Frontiers in Psychology*, 2020, no. 11, 570085. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.570085>
17. Ammar, A., Brach, M., Trabelsi, K. et al. Effects of COVID-19 home confinement on eating behaviour and physical activity: Results of the ECLB-COVID19 international online survey // *Nutrients*, 2020, vol. 12, no. 6, 1583 p. <https://doi.org/10.3390/nu12061583>
 18. Ammar, A., Chtourou, H., Boukhris, O. et al. COVID-19 home confinement negatively impacts social participation and life satisfaction: A worldwide multicenter study // *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17, no. 17, art. 6237, pp. 1-17. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176237>
 19. Antonini Philippe, R., Schiavio, A., Biasutti, M. Adaptation and destabilization of interpersonal relationships in sport and music during the COVID-19 lockdown // *Heliyon*, vol. 6, no. 10, art. e05212. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05212>
 20. Behzadnia, B., FatahModares, S. Basic Psychological Need-Satisfying Activities during the COVID-19 Outbreak // *Applied Psychology: Health and Well-Being*, 2020, vol. 12, no. 4, pp. 1115-1139. <https://doi.org/10.1111/aphw.12228>
 21. Bentlage, E., Ammar, A., How, D., Ahmed, M., Trabelsi, K., Chtourou, H., Brach, M. Practical recommendations for maintaining active lifestyle during the COVID-19 pandemic: A systematic literature review // *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17, no. 17, art. 6265, pp. 1-22. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176265>
 22. Biddle, S.J.H., Mutrie, N. *Psychology of physical activity: Determinants, well-being, and interventions*. 3rd edition. London: Routledge, 2015, 420 p.
 23. Brooks, S.K., Webster, R.K., Smith, L.E., Woodland, L., Wessely, S., Greenberg, N., Rubin, G.J. The psychological impact of quarantine and how to reduce it: rapid review of the evidence // *The Lancet*, 2020, vol. 395, no. 10227, pp. 912-920. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30460-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30460-8)
 24. Callow, D.D., Arnold-Nedimala, N.A., Jordan, L.S., Pena, G.S., Won, J., Woodard, J.L., Smith, J.C. The Mental Health Benefits of Physical Activity in Older Adults Survive the COVID-19 Pandemic // *American Journal of Geriatric Psychiatry*, 2020, vol. 28, no. 10, pp. 1046-1057. <https://doi.org/10.1016/j.jagp.2020.06.024>
 25. Choi, C., Bum, C.H. Changes in the type of sports activity due to COVID-19: Hypochondriasis and the intention of continuous participation in sports // *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17, no. 13, art. 4871, pp. 1-11. <https://doi.org/10.3390/ijerph17134871>

26. Di Fronso, S., Costa, S., Montesano, C., Di Gruttola, F., Ciofi, E.G., Morgil-li, L., Robazza, C., Bertollo, M. The effects of COVID-19 pandemic on perceived stress and psychobiosocial states in Italian athletes // *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 2020. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2020.1802612>
27. Gilat R., Cole B.J. COVID-19, Medicine, and Sports // *Arthroscopy, Sports Medicine, and Rehabilitation*, 2020, vol. 2, no. 3, pp. 175-176. <https://doi.org/10.1016/j.asmr.2020.04.003>
28. Gouttebauge, V. Frings-Dresden, M. H. W., Sluiter J.K. Mental and psychosocial health among current and former professional footballers // *Occupational Medicine*, 2015, vol. 65, no 3, pp. 190-196. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqu202>
29. Gulliver, A. The mental health of Australian elite athletes // *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2015, vol. 18, no. 3, pp. 255-261. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.04.006>
30. Håkansson, A., Jönsson, C., Kenttä, G. Psychological distress and problem gambling in elite athletes during COVID-19 restrictions – a web survey in top leagues of three sports during the pandemic // *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17, no. 18, art. 6693, pp. 1-17. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186693>
31. Hammond, T., Gialloreti, C., Kubas, H., Davis, H. The Prevalence of Failure-Based Depression Among Elite Athletes // *Clin. J. Sport Med.*, 2013, vol. 23, no. 4, pp. 273-277. <https://doi.org/10.1097/jsm.0b013e318287b870>
32. Holmes, E.A., O'Connor, R.C., Perry, V.H. et al. Multidisciplinary research priorities for the COVID-19 pandemic: a call for action for mental health science // *The Lancet Psychiatry*, 2020, vol. 7, no. 6, pp. 547-560. [https://doi.org/10.1016/S2215-0366\(20\)30168-1](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(20)30168-1)
33. Iancheva, T., Rogaleva L., GarcíaMas A., Olmedilla, A. Perfectionism, mood states, and coping strategies of sports students from bulgaria and russia during the pandemic COVID-19 // *Journal of Applied Sports Sciences*, 2020, vol. 1, pp. 22-38. <http://dx.doi.org/10.37393/JASS.2020.01.2>
34. Jiménez-Pavón, D., Carbonell-Baeza, A., Lavie, C.J. Physical exercise as therapy to fight against the mental and physical consequences of COVID-19 quarantine: Special focus in older people // *Progress in Cardiovascular Diseases*, 2020, vol. 63, no. 3, pp. 386-388. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2020.03.009>
35. Lesser, I.A., Nienhuis, C.P. The impact of COVID-19 on physical activity behavior and well-being of Canadians // *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17, no. 11, art. 3899. pp. 74. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113899>

36. Maugeri G., Castrogiovanni P., Battaglia G., Pippi R., D'Agata V., Palma A., Di Rosa M., Musumeci G. The impact of physical activity on psychological health during COVID-19 pandemic in Italy // *Heliyon*, 2020, vol. 6, no. 6, e04315. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04315>
37. Mon-López, D., Riaza, A.L.R., Galán, M.H., Roman, I.R. The impact of COVID-19 and the effect of psychological factors on training conditions of handball players // *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17, no. 18, art. 6471, pp. 1-14. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186471>
38. Mutz, M. Forced adaptations of sporting behaviours during the COVID-19 pandemic and their effects on subjective well-being // *European Societies*, 2020. <https://doi.org/10.1080/14616696.2020.1821077>
39. Pfefferbaum, B., North, C.S. Mental Health and the COVID-19 Pandemic // *The New England journal of medicine*, 2020, vol. 383, no. 6, pp. 510-512. <https://doi.org/10.1056/NEJMp2008017>
40. Pieh, C., Budimir, S., Probst, T. The effect of age, gender, income, work, and physical activity on mental health during coronavirus disease (COVID-19) lockdown in Austria // *Journal of Psychosomatic Research*, 2020, vol. 136, art. 110186. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2020.110186>
41. Sanderson, J., Brown, K. COVID-19 and youth sports: Psychological, Developmental, and Economic Impacts // *International Journal of Sport Communication*, 2020, vol. 13, no. 3, pp. 313-323. <https://doi.org/10.1123/ijsc.2020-0236>
42. Sarkar, M., Fletcher, D. Psychological resilience in sport performers: a review of stressors and protective factors // *Journal of Sports Sciences*, 2014, vol. 32, no. 15, pp. 1419-1434. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.901551>
43. Sarto, F., Impellizzeri, F.M., Spörri, J., Porcelli, S., Olmo, J., Requena, B., Suarez-Arrones, L., Arundale, A., Bilsborough, J., Buchheit, M. Impact of Potential Physiological Changes due to COVID-19 Home Confinement on Athlete Health Protection in Elite Sports: A Call for Awareness in Sports Programming // *Sports Med.*, 2020, no. 50, pp. 1417-1419. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01297-6>

References

1. Ananov V.A. *Osnovy psikhologii zdorovya. Kniga 1. Kontseptualnye osnovy psikhologii zdorovya* [Fundamentals of health psychology. Book 1. Conceptual foundations of health psychology]. Saint Petersburg: Speech, 2006, 384 p.
2. Ilin E.P. *Differentsialnaya psikhofiziologiya muzhchiny i zhenshchiny* [Differential psychophysiology of men and women]. Saint Petersburg: Peter, 2002, 544 p.

3. Ilina N.L. Paradigmalnye «zabluzhdeniya» sportsmenov v period ogranicheniy, vyzvannykh pandemiy [Paradigmatic” misconceptions “ of athletes in the period of restrictions caused by the pandemic]. *Peterburgskiy psikhologicheskii zhurnal* [St. Petersburg Psychological Journal], 2020, no. 32, pp. 58-70. <https://ppj.spbpo.ru/psy/article/view/287>
4. Kaveshnikova E.B. Psikhologicheskaya pomoshch professionalnym sportsmenam v period pandemii s uchedom ikh individualno-tipologicheskikh osobennostey [Psychological assistance to professional athletes during the pandemic, taking into account their individual typological characteristics]. *Innovatsii. Nauka. Obrazovanie* [Innovation. The science. Education], 2020, no. 14, pp. 828-833.
5. Kislyakov P. A. Psychological resistance of student youth to information stress in the COVID-19 pandemic [Psychological resistance of students to information stress in the context of the COVID-19 pandemic]. *Perspektivy nauki i obrazovaniya* [Perspectives of Science and Education], 2020, no. 47 (5), pp. 343-356. <https://doi.org/10.32744/pse.2020.5.24>
6. Kislyakov P.A., Pchelinova V.V., Kornev A.V., Karpova N.V. Socio-psychological security of sporting students with health impairments [Social and psychological safety of students-athletes with disabilities]. *Teoriya i Praktika Fizicheskoy Kultury* [Theory and Practice of Physical Culture], 2019, no 5, p. 15.
7. Likhtenshteyn V.I., Konashkov V.V. Psikhologiya bezopasnosti truda: uchebnoe posobie [Occupational safety psychology: a textbook.]. *Ekaterinburg: Izd-vo Ural'skogo universiteta* [Yekaterinburg: Ural University Publishing House], 2013. 134 p.
8. Lyamzin E.N., Splender V.V., Botonogov A.S. Perezhivanie professionalnymi sportsmenami i sportsmenami – lyubitelyami psikhologicheskogo stressa, vyzvannogo ogranichitelnyimi merami iz-za COVID-19 [The experience of professional athletes and amateur athletes of psychological stress caused by restrictive measures due to COVID-19]. *Sbornik statey po itogam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Innovatsionnye mekhanizmy i strategicheskie priority nauchno-tekhnicheskogo razvitiya”* [Collection of articles on the results of the International Scientific and Practical Conference “Innovative mechanisms and strategic priorities of scientific and technical development” (Volgograd, 19.08.2020)], Sterlitamak, 2020, pp. 56-60.
9. Merzlyakova D.R. Issledovanie vliyaniya bioritmov i fizicheskoy nagruzki na protsess sokhraneniya psikhologicheskogo zdorovya sportsmenov-podrostkov [Investigation of the influence of biorhythms and physical activity on the process of preserving the psychological health of adolescent athletes]. *Voprosy psikhicheskogo zdorovya detey i podrostkov* [Voprosy psikhicheskogo zdorovya detey i podrostkov], 2020, vol. 20, no. 2, pp. 77-81.

10. Polyakov E.A., Kislyakov P.A., Senkevich L.V., Bychkova L.A. Psychological consulting service to athletes in challenging life situations [Psychological counseling of athletes in difficult life situations]. *Teoriya i Praktika Fizicheskoy Kultury* [Theory and Practice of Physical Culture], 2017, no. 4, p. 9.
11. Psikhicheskoe zdorove detey i podrostkov v kontekste psikhologicheskoy sluzhby [Mental health of children and adolescents in the context of psychological service]; ed. I.V. Dubrovina. *Ekaterinburg: Delovaya kniga* [Yekaterinburg: Business Book], 2000, 176 p.
12. Rekomendatsii VOZ po voprosam fizicheskoy aktivnosti i malopodvizhnogo obraza zhizni: kratkiy obzor [WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour: at a glance]. URL: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/337001/9789240014909-rus.pdf> (accessed October 20, 2020)
13. Samoylov N.G., Aleshicheva A.V. Sovremennyye predstavleniya o sostoyanii psikhologicheskogo zdorovya sportsmenov [Modern ideas about the state of psychological health of athletes]. *Sportivnyy psikholog* [Sports psychologist], 2016, no. 4 (43), pp. 4-11. <http://sportfiction.ru/articles/sovremennyye-predstavleniya-o-sostoyanii-psikhologicheskogo-zdorovya-sportsmenov/>
14. Fukin A.I., Trusova L.A. Otnoshenie studentov – sportsmenov k pandemii koronavirusnoy infektsii COVID-19 [The attitude of student-athletes to the coronavirus infection pandemic COVID-19]. *Sbornik statey VI Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Bekhterev i sovremennaya psikhologiya lichnosti”* [Collection of articles of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference “Bekhterev and Modern Personality Psychology” (Kazan, 02-04 October 2020): Center for Social and Humanitarian Education]. Kazan, 2020, pp. 78-79.
15. Shuvalov A.V. Psikhologicheskoe zdorov'e cheloveka [Psychological health of a person]. *Vestnik Pravoslavnogo Svyato-Tikhonovskogo gumanitarnogo universiteta. Seriya IV: Pedagogika. Psikhologiya* [Bulletin of the Orthodox St. Tikhon's University for the Humanities. Series IV: Pedagogy. Psychology], 2009, no. 4 (15), pp. 87-101. <https://pstgu.ru/download/1264506230.shuvalov.pdf>
16. Alsalhe, T.A., Aljaloud, S.O., Chalghaf, N., Guelmami, N., Alhazza, D.W., Azaiez, F., Bragazzi, N.L. Moderation effect of physical activity on the relationship between fear of COVID-19 and general distress: A pilot case study in Arabic countries. *Frontiers in Psychology*, 2020, no. 11, 570085. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.570085>
17. Ammar, A., Brach, M., Trabelsi, K. et al. Effects of COVID-19 home confinement on eating behaviour and physical activity: Results of the ECLB-COVID19 international online survey. *Nutrients*, 2020, vol. 12, no. 6, 1583 p. <https://doi.org/10.3390/nu12061583>

18. Ammar, A., Chtourou, H., Boukhris, O. et al. COVID-19 home confinement negatively impacts social participation and life satisfaction: A worldwide multicenter study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17, no. 17, art. 6237, pp. 1-17. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176237>
19. Antonini Philippe, R., Schiavio, A., Biasutti, M. Adaptation and destabilization of interpersonal relationships in sport and music during the COVID-19 lockdown. *Heliyon*, vol. 6, no. 10, art. e05212. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05212>
20. Behzadnia, B., FatahModares, S. Basic Psychological Need-Satisfying Activities during the COVID-19 Outbreak. *Applied Psychology: Health and Well-Being*, 2020, vol. 12, no. 4, pp. 1115-1139. <https://doi.org/10.1111/aphw.12228>
21. Bentlage, E., Ammar, A., How, D., Ahmed, M., Trabelsi, K., Chtourou, H., Brach, M. Practical recommendations for maintaining active lifestyle during the COVID-19 pandemic: A systematic literature review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17, no. 17, art. 6265, pp. 1-22. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176265>
22. Biddle, S.J.H., Mutrie, N. Psychology of physical activity: Determinants, well-being, and interventions. 3rd edition. London: Routledge, 2015, 420 p.
23. Brooks, S.K., Webster, R.K., Smith, L.E., Woodland, L., Wessely, S., Greenberg, N., Rubin, G.J. The psychological impact of quarantine and how to reduce it: rapid review of the evidence. *The Lancet*, 2020, vol. 395, no. 10227, pp. 912-920. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30460-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30460-8)
24. Callow, D.D., Arnold-Nedimala, N.A., Jordan, L.S., Pena, G.S., Won, J., Woodard, J.L., Smith, J.C. The Mental Health Benefits of Physical Activity in Older Adults Survive the COVID-19 Pandemic. *American Journal of Geriatric Psychiatry*, 2020, vol. 28, no. 10, pp. 1046-1057. <https://doi.org/10.1016/j.jagp.2020.06.024>
25. Choi, C., Bum, C.H. Changes in the type of sports activity due to COVID-19: Hypochondriasis and the intention of continuous participation in sports. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17, no. 13, art. 4871, pp. 1-11. <https://doi.org/10.3390/ijerph17134871>
26. Di Fronso, S., Costa, S., Montesano, C., Di Gruttola, F., Ciofi, E.G., Morgilli, L., Robazza, C., Bertollo, M. The effects of COVID-19 pandemic on perceived stress and psychobiosocial states in Italian athletes. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 2020. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2020.1802612>

27. Gilat R., Cole B.J. COVID-19, Medicine, and Sports. *Arthroscopy, Sports Medicine, and Rehabilitation*, 2020, vol. 2, no. 3, pp. 175-176. <https://doi.org/10.1016/j.asmr.2020.04.003>
28. Gouttebauge, V. Frings-Dresden, M. H. W., Sluiter J.K. Mental and psychosocial health among current and former professional footballers. *Occupational Medicine*, 2015, vol. 65, no 3, pp. 190-196. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqu202>
29. Gulliver, A. The mental health of Australian elite athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2015, vol. 18, no. 3, pp. 255-261. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.04.006>
30. Håkansson, A., Jönsson, C., Kenttä, G. Psychological distress and problem gambling in elite athletes during COVID-19 restrictions – a web survey in top leagues of three sports during the pandemic. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17, no. 18, art. 6693, pp. 1-17. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186693>
31. Hammond, T., Gialloredo, C., Kubas, H., Davis, H. The Prevalence of Failure-Based Depression Among Elite Athletes. *Clin. J. Sport Med.*, 2013, vol. 23, no. 4, pp. 273-277. <https://doi.org/10.1097/jsm.0b013e318287b870>
32. Holmes, E.A., O'Connor, R.C., Perry, V.H. et al. Multidisciplinary research priorities for the COVID-19 pandemic: a call for action for mental health science. *The Lancet Psychiatry*, 2020, vol. 7, no. 6, pp. 547-560. [https://doi.org/10.1016/S2215-0366\(20\)30168-1](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(20)30168-1)
33. Iancheva, T., Rogaleva L., GarciaMas A., Olmedilla, A. Perfectionism, mood states, and coping strategies of sports students from bulgaria and russia during the pandemic COVID-19. *Journal of Applied Sports Sciences*, 2020, vol. 1, pp. 22-38. <http://dx.doi.org/10.37393/JASS.2020.01.2>
34. Jiménez-Pavón, D., Carbonell-Baeza, A., Lavie, C.J. Physical exercise as therapy to fight against the mental and physical consequences of COVID-19 quarantine: Special focus in older people. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 2020, vol. 63, no. 3, pp. 386-388. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2020.03.009>
35. Lesser, I.A., Nienhuis, C.P. The impact of COVID-19 on physical activity behavior and well-being of Canadians. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17, no. 11, art. 3899. pp. 74. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113899>
36. Maugeri G., Castrogiovanni P., Battaglia G., Pippi R., D'Agata V., Palma A., Di Rosa M., Musumeci G. The impact of physical activity on psychological health during COVID-19 pandemic in Italy. *Heliyon*, 2020, vol. 6, no. 6, e04315. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04315>

37. Mon-López, D., Riaza, A.L.R., Galán, M.H., Roman, I.R. The impact of COVID-19 and the effect of psychological factors on training conditions of handball players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17, no. 18, art. 6471, pp. 1-14. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186471>
38. Mutz, M. Forced adaptations of sporting behaviours during the COVID-19 pandemic and their effects on subjective well-being. *European Societies*, 2020. <https://doi.org/10.1080/14616696.2020.1821077>
39. Pfefferbaum, B., North, C.S. Mental Health and the COVID-19 Pandemic. *The New England journal of medicine*, 2020, vol. 383, no. 6, pp. 510-512. <https://doi.org/10.1056/NEJMp2008017>
40. Pieh, C., Budimir, S., Probst, T. The effect of age, gender, income, work, and physical activity on mental health during coronavirus disease (COVID-19) lockdown in Austria. *Journal of Psychosomatic Research*, 2020, vol. 136, art. 110186. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2020.110186>
41. Sanderson, J., Brown, K. COVID-19 and youth sports: Psychological, Developmental, and Economic Impacts. *International Journal of Sport Communication*, 2020, vol. 13, no. 3, pp. 313-323. <https://doi.org/10.1123/ijsc.2020-0236>
42. Sarkar, M., Fletcher, D. Psychological resilience in sport performers: a review of stressors and protective factors. *Journal of Sports Sciences*, 2014, vol. 32, no. 15, pp. 1419-1434. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.901551>
43. Sarto, F., Impellizzeri, F.M., Spörri, J., Porcelli, S., Olmo, J., Requena, B., Suarez-Arrones, L., Arundale, A., Bilsborough, J., Buchheit, M. Impact of Potential Physiological Changes due to COVID-19 Home Confinement on Athlete Health Protection in Elite Sports: A Call for Awareness in Sports Programming. *Sports Med.*, 2020, no. 50, pp. 1417-1419. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01297-6>

ДААННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Кисляков Павел Александрович, д-р псих. наук, доцент, профессор факультета психологии
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Российский государственный социальный университет»
ул. Лосиноостровская, 24, г. Москва, 107150, Российская Федерация
pack.81@mail.ru

Белов Михаил Сергеевич, канд. культурологии, доцент, заведующий кафедрой физического воспитания
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

*ул. Рабфаковская, 34, г. Иваново, 153003, Российская Федерация
fizvos@ispu.ru*

Константинова Наталия Петровна, канд. филос. наук, доцент факультета психологии

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Российский государственный социальный университет»
ул. Лосиноостровская, 24, г. Москва, 107150, Россия
tsygula@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Pavel A. Kislyakov, Dr. Sci. (Psychology), Associate Professor, Professor of the Department of Psychology

*Russian State Social University
24 Losinoostrovskaya Str., Moscow, 107150, Russian Federation
pack.81@mail.ru*

SPIN-code: 1375-5625

ORCID: 0000-0003-1238-9183

ResearcherID: E-4701-2016

Scopus Author ID: 56348736600

Mikhail S. Belov, PhD (Culturology), Associate Professor, Head of the Department of Physical Education

*Ivanovo State Power University
34, Rabfakovskaya Str., Ivanovo, 153003, Russian Federation
fizvos@ispu.ru*

SPIN-code: 4838-0413

ResearcherID: P-7104-2017

ORCID: 0000-0001-8729-0685

Scopus Author ID: 57194472169

Nataliya P. Konstantinova, PhD (Philosophy), Associate Professor of the Department of Psychology

*Russian State Social University
24 Losinoostrovskaya Str., Moscow, 107150, Russian Federation
tsygula@mail.ru*

SPIN-code: 1690-8166

Scopus Author ID: 57207889679

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-100-113

УДК 616.28 - 2008.1-053.2 (571.52)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБУЧАЮЩЕГО ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ «ЖИВОЙ ЗВУК» У ДЕТЕЙ С НАРУШЕНИЯМИ СЛУХА В РЕСПУБЛИКЕ ТЫВА

*И.А. Игнатова, Л.И. Покидышева,
О.В. Скиданова, О.И. Зайцева*

Цель. Повысить эффективность специализированной персонализированной медицинской помощи детскому слабослышащему населению республики Тыва с помощью программного модуля «Живой звук».

Результаты. У слабослышащих детей при проведении реабилитационных мероприятий неречевыми и речевыми стимулами посредством программного модуля «Живой звук» получена положительная динамика слуха в зависимости от возраста, формы и степени тугоухости.

Заключение. Использование полученных в работе результатов предполагает наличие экономического эффекта: сокращения времени обследования и улучшения качества диагностических и лечебных мероприятий среди детского слабослышащего населения республики Тыва.

Ключевые слова: дети; нарушение слуха; программный модуль; живой звук

Для цитирования: Игнатова И.А., Покидышева Л.И., Скиданова О.В., Зайцева О.И. Эффективность воздействия обучающего программного модуля «Живой звук» у детей с нарушениями слуха в Республике Тыва // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 2. С. 100-113. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-100-113

EFFECTIVENESS OF THE INFLUENCE OF THE LIVE SOUND TRAINING SOFTWARE MODULE ON CHILDREN WITH OTOPATHOLOGY IN THE REPUBLIC OF TYVA

I.A. Ignatova, L.I. Pokidyшева, O.V. Skidanova, O.I. Zaitseva

Aim. To increase the effectiveness of specialized personalized medical care for children with hearing impairments Tyva Republic using the Live Sound software module.

Conclusion. *Hearing impaired children during rehabilitation activities with non-verbal and verbal stimuli by means of the “Live Sound” software module obtained positive dynamics of hearing depending on age, forms and degrees of hearing loss.*

Results. *Hearing impaired children during rehabilitation activities with non-verbal and verbal stimuli by means of the “Live Sound” software module obtained positive dynamics of hearing depending on age, forms and degrees of hearing loss.*

Conclusion. *The use of the results obtained in the work presupposes the presence of an economic effect: a reduction in the examination time and an improvement in the quality of diagnostic and therapeutic measures among the hearingimpaired population of the Tyva Republic.*

Keywords: *children; hearing impairment; software module; ‘Live Sound’*

For citation. *Ignatova I.A., Pokidyshva L.I., Skidanova O.V., Zaitseva O.I. Effectiveness of the Influence of the Live Sound Training Software Module on Children with Otopathology in the Republic of Tyva. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 100-113. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-100-113*

Введение

В последние годы наблюдается стремительный рост численности людей с социально значимым снижением слуха среди населения земного шара [11,13], в том числе и среди граждан России [9]. Сложившаяся ситуация обусловлена в основном патологией внутреннего уха и связана с ростом числа больных с наследственной и врожденной патологией [3], с применением препаратов с ототоксическим действием, с экологическими факторами и другими причинами [1]. По данным Всемирной организации здравоохранения, 4–7% населения страдает нарушениями слуховой функции (взрослых – 17,6 на 1000, детей – 1,2 на 1000). Число больных с нарушениями слуха в Российской Федерации превышает 12 млн. человек. По образному выражению Э. Канта: «Слепота отделяет нас от вещей, глухота – от людей».

В настоящее время наблюдается высокая распространенность оториноларингологической патологии (особенно, органа слуха) среди детского населения [10,15].

Согласно стратегии правительства Российской Федерации социально-экономического развития Сибири, повышение качества жизни, сохранение культуры народов Севера, является одним из приоритетных направлений в реализации геоэкономических и геополитических интересов России. В связи, с чем актуально внимание к качеству человеческого потенциала этих территорий – здоровью населения. Коренное население северных терри-

торий России относится к различным этническим и языковым группам и характеризуется разной длительностью проживания на Севере. В системе расовой классификации все эти народности относятся к монголоидному типу, однако, отличаются друг от друга степенью выраженности монголоидных особенностей и удельным весом европеоидного компонента [1,3].

Сенсорные системы организма в первую очередь подвергаются воздействию экстремальных факторов внешней среды.

Орган слуха в силу своей филогенетической молодости отличается особой чувствительностью к воздействию неблагоприятных окружающих условий, в связи с чем проблема данных патологий, имеющая огромную социальную значимость в современном обществе, существенно возрастает в районах высоких широт.

Именно в раннем возрасте эти заболевания проходят с наибольшими осложнениями, поэтому необходим междисциплинарный подход к диагностике и лечению данной патологии [4,6].

Весьма немалую роль в возникновении тугоухости населения Восточной Сибири играют суровые климатические условия. Наша динамичная, наполненная информацией окружающая среда предъявляет высокие требования к качеству здоровья членов общества, в том числе и к слуху. При потере слуха возникает дискомфорт бытового, образовательного и профессионального общения вследствие нарушений речевой функции слабослышащих [17,18].

Речь – исторически сложившаяся форма общения людей посредством языковых конструкций, создаваемых на основе определённых правил. Процесс речи предполагает, с одной стороны, формирование и формулирование мыслей языковыми (речевыми) средствами, а с другой стороны – восприятие языковых конструкций и их понимание.

Речь и язык составляют сложное диалектическое единство. Речь осуществляется по правилам языка, и вместе с тем под действием ряда факторов (требований общественной практики, развития науки, взаимных влияний языков и др.). Ребенок усваивает язык в процессе общения со взрослыми и учится пользоваться им в речи. Благодаря речи (особенно в ее письменном виде) осуществляется историческая преемственность опыта людей. Вне речи немислимо овладение человеком знаниями и формирование сознания. Будучи средством выражения мыслей людей в процессе их общения, речь становится основным механизмом их мышления.

Цель исследования – повысить эффективность специализированной персонифицированной медицинской помощи детскому слабослышащему населению р. Тыва с помощью программного модуля «Живой звук».

Материал и методы исследования

Оториноларингологические: сделано комплексное аудиологическое обследование с помощью отоскопа, диагностического аудиометра AD-226 и проведен осмотр невропатологом слабослышащих детей разновозрастных групп (n=100) в возрасте от 1 года до 13 лет. Работа проводилась на базе ГБУЗ Республиканской детской больницы республики Тыва, консультативно-диагностической поликлиники города Кызыла. Все исследования выполнены с информированного согласия обследованных групп детского населения и в соответствии с этическими нормами Хельсинской Декларации 2011 г.

Исследование проводилось с разрешения этического комитета ФГБНУ «НИИ медицинских проблем Севера» (директор – д.м.н., профессор Каспаров Э.В.).

Все группы обследованы с учетом анамнестических данных анкетирования, данных аудиологического, неврологического исследования [2]. Выделены следующие группы:

- дети раннего дошкольного возраста (РВ n=23),
- дети дошкольного возраста (ДВ n=24),
- группа детей младшего школьного возраста (ШВ n=53)

Проведен анализ оценки слухового восприятия детей с помощью анкетирования родителей по анкете (LittEARS) в русскоязычной версии И.В. Королевой (период анкетирования 2013–2019 гг.) [4].

В последние десятилетия весьма успешно проводятся исследования по разработке специализированных программных комплексов, реализующих различные алгоритмы оценки патологии слуха как в России [5], так и за рубежом [12, 14, 16]. Нами использован компьютерный обучающий комплекс «Живой звук». Комплекс «Живой звук» включает в себя специально подготовленный набор учебно-коррекционных программ, которые направлены на помощь детям, имеющим нарушения слуха и речи разной степени тяжести и происхождения.

Сделан факторный анализ эффективности коррекционных занятий при помощи речевых и неречевых стимулов на компьютерной программе «Живой звук» в исследуемых группах.

Статистическая обработка материала: для каждой рассматриваемой группы (до и после реабилитации) были вычислены значения среднего, ошибки среднего, дисперсии, среднеквадратического отклонения, методом корреляционной адаптометрии определялось наличие взаимосвязи между исследуемыми аудиологическими показателями до и после реабилитации [7, 8].

Коэффициенты корреляции вычислялись по формуле:

$$r_{kl} = \frac{\text{cov}(x_k, x_l)}{\sigma_{x_k} \cdot \sigma_{x_l}},$$

где $k, l = 1 \dots n$ (n -число показателей),

$$\text{cov}(x_k, x_l) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (x_{k_i} - \bar{x}_k)(x_{l_j} - \bar{x}_l) P_{x_k x_l}$$

\bar{x}_k – среднее значение по x_k ,

$P_{x_k x_l}$ – вероятность,

σ_{x_k} – стандартное отклонение по x_k ,

σ_{x_l} – стандартное отклонение по x_l .

Предмет исследования: слуховое восприятие детей с нарушениями слуха.

Задачи исследования:

1. Выявить закономерности динамики слуха, полученные в разновозрастных группах исследования при сравнительном анализе результатов воздействия обучающего программного модуля «Живой звук».

2. Провести коррекцию слуховой чувствительности с помощью обучающего программного модуля «Живой звук» в исследуемых группах с помощью разработанных методик.



Рис. 1. Обучающий программный модуль «Живой звук»

Данная программа предназначена для записи, демонстрации оценки основных параметров речи (интенсивности, длительности, спектрального состава) с графическим изображением слуховой чувствительности и разборчивости речи. Возможности моно, бисенсорного и полисенсорно-

го (слухового, тактильного, зрительного) восприятия речевых сигналов. Проведение коррекционных занятий по развитию слуховых, речевых и коммуникативных навыков с использованием методических материалов.

Результаты

В ходе исследования выявлены следующие результаты:

При воздействии речевыми и неречевыми стимулами во всех исследуемых группах суммарные корреляции между аудиологическими показателями снизились, что подтверждает положительную динамику слуха.

При сходстве направлений и последовательности слуховой тренировки речевыми и неречевыми стимулами слабослышащих детей, темпы развития слуховой чувствительности после реабилитации в разных возрастных группах отличаются в зависимости от формы и стадии тугоухости.

Нами проведены исследования эффективности реабилитационных программ обучающего модуля «Живой звук», представленные на рисунках 2-5.

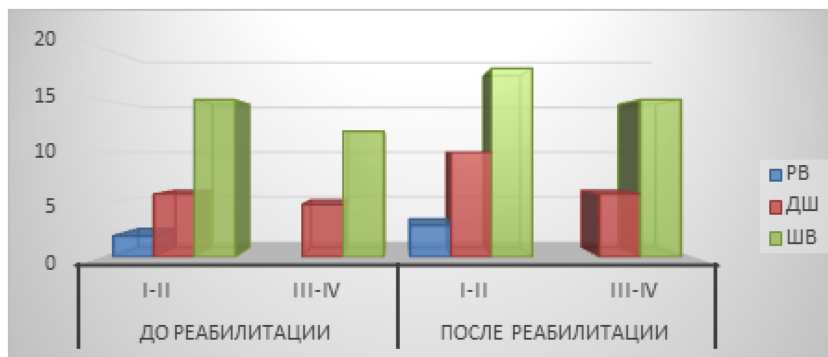


Рис. 2. Динамика отопатологии с кондуктивной формой тугоухости неречевыми стимулами (по вертикальной оси – темпы развития слуховой чувствительности в %, по горизонтальной оси – степени тугоухости)

В ходе проведения обучающего воздействия неречевыми стимулами у детей с кондуктивными формами тугоухости наибольший положительный эффект реабилитации слуховой чувствительности отмечается в группах детей раннего возраста и дошкольного возраста с I-II степенью тугоухости.

Исследована динамика реабилитации отопатологии речевыми стимулами у слабослышащих детей р. Тыва с кондуктивной формой тугоухости с различной степенью потери слуха: I-I и III-IV степенями. Наилучший

эффект развития слуховой чувствительности достигнут у детей дошкольного возраста с различной степенью потери слуха (рис. 3).



Рис. 3. Динамика реабилитации отопатологии речевыми стимулами детей с кондуктивной формой тугоухости (по вертикальной оси – темпы развития слуховой чувствительности в %, по горизонтальной оси – степени тугоухости)

Проведено изучение динамики отопатологии посредством реабилитации неречевыми стимулами у слабослышащих детей р. Тыва с нейросенсорной формой тугоухости (рис. 4).

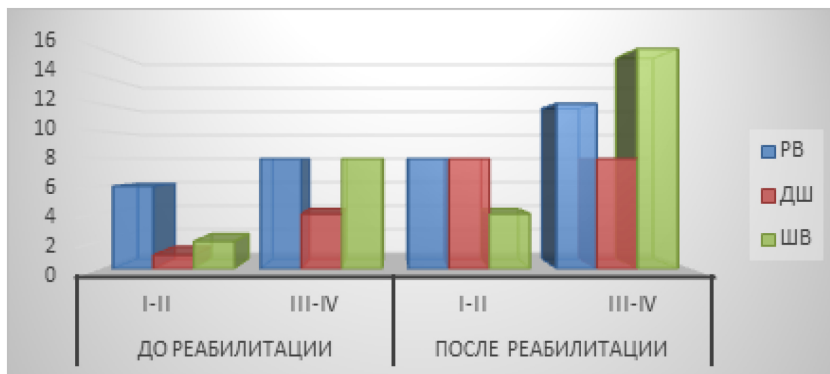


Рис. 4. Динамика реабилитации отопатологии неречевыми стимулами с нейросенсорной формой тугоухости (по вертикальной оси – темпы развития слуховой чувствительности в %, по горизонтальной оси – степени тугоухости)

У детей с нейросенсорной тугоухостью при проведении реабилитационных мероприятий неречевыми стимулами были получены наилучшие

результаты в группе дошкольного возраста с первой-второй степенью тугоухости, а также в группе школьного возраста с выраженной потерей слуха III–IV степенями.

Проведено изучение динамики реабилитации отопатологии речевыми стимулами у слабослышащих детей р. Тыва с нейросенсорной формой тугоухости (рис. 5).



Рис. 5. Динамика реабилитации отопатологии речевыми стимулами у слабослышащих детей р. Тыва с нейросенсорной формой тугоухости (по вертикальной оси – темпы развития слуховой чувствительности в %, по горизонтальной оси – степени тугоухости)

При воздействии речевыми стимулами у детей всех возрастных групп с нейросенсорной тугоухостью наилучший эффект отмечается у группы дошкольного возраста с разными степенями выраженности нарушений слуха, а также у детей раннего возраста с нарушениями слуха I–II степенью тугоухости.

Выводы:

1. Наилучший эффект при воздействии речевых и неречевых стимулов обучающей программы «Живой звук» достигнут в исследуемых группах раннего и дошкольного возрастов.

2. У детей с легкими потерями слуха достигнут большой результат восстановления слуха.

Практическая значимость работы

Результаты работы будут способствовать наиболее эффективной коррекции отопатологии с помощью обучающего программного модуля «Живой звук» по сравнению с применяемыми ранее методиками. Предлагаемый спо-

соб, ввиду своей доступности, высокой эффективности, отсутствия побочных эффектов и экономичности, может быть рекомендован для широкого использования в амбулаторной практике отдаленных регионов республики Тыва, где распространенность патологии слуха и речи у детей очень высока.

Внедрение результатов исследования

Результаты проведенных исследований внедрены в учебный процесс специализированной школы для слабослышащих детей города Кызыла республики Тыва и занятий дефектолога республиканской консультативно-диагностической поликлиники.

Заключение

Использование полученных в работе результатов предполагает наличие экономического эффекта: сокращения времени обследования и улучшения качества диагностических и лечебных мероприятий среди детского слабослышащего населения республики Тыва.

Конфликт интересов. Авторы не заявляют о конфликте интересов.

Список литературы

1. Игнатова И.А., Фефелова В.В., Капустина Т.А., Игнатов С.В. Популяционные особенности отопатологии у жителей Восточной Сибири // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). 2000. № 3. С. 64-66.
2. Игнатова И.А., Эверт Л. С., Зайцева О.И., Шилов С.Н., Покидышева Л.И. Способ оценки аудиологических показателей слабослышащих. Математические методы и программные средства в оценке эффективности слухопротезирования: медицинская технология. Красноярск, 2015, 68 с.
3. Кононова С.К., Барашков Н.А., Пшенникова В.Г., Соловьев А.В., Чердонова А.М., Никанорова А.А., Романов Г.П., Хуснутдинова Э.К., Федорова С.А., Терюгин Ф.М. Некоторые биоэтические вопросы молекулярно-генетической диагностики аутосомно-рецессивной глухоты 1А типа, распространенной в якутской популяции // Якутский медицинский журнал. 2018. №2. С. 79-82. <https://doi.org/10.25789/УМЖ.2018.62.23>
4. Королева И.В. Помощь детям с нарушением слуха: Руководство для родителей и специалистов. Санкт-Петербург: КАРО, 2016, 304 с.
5. Крейсман М.В., Цыцорина И.А., Холина Г.А. Частично имплантируемые слуховые аппараты как метод реабилитации пациентов со стойкой кондуктивной тугоухостью // Journal of Siberian Medical Sciences. 2015. №3. С. 111-119. <https://jsms.elpub.ru/jour/article/view/202>

6. Покидышева Л.И., Игнатова И.А. Корреляционная адаптометрия и метод главных компонент в оценке адаптационных возможностей иммунной системы // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2011. Т. 10, № 1. С. 152-157.
7. Покидышева Л.И., Игнатова И.А. Алгоритмы диагностики нарушений слуха у школьников // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2017. Т. 16, № 3. С. 590-594.
8. Реброва О.Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ «STATISTICA». М.: Медиа Сфера, 2002, 162 с.
9. Сказатова Н.Ю., Пискунов Г.З. Распространенность болезней уха, горла и носа у городского населения // Кремлевская медицина. 2016. №1. С. 5-10. <http://kremlin-medicine.ru/index.php/km/article/view/934>
10. Чибисова С. С., Маркова Т. Г., Алексеева Н. Н. и др. Эпидемиология нарушений слуха среди детей 1-го года жизни // Вестник оториноларингологии. 2018. Т. 83, №4. С. 37-42. <https://doi.org/10.17116/otorino201883437>
11. Gablenz P., Hoffmann E., Holube I. Gender-specific hearing loss in German adults aged 18 to 84 years compared to US-American and current European studies // PLoS One, 2020, vol. 15, no. 4, e0231632. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231632>
12. Ghayedlou L., Ahmadi A., Ghorbani A. et al. Vowel duration measurement in school-age children with cochlear implant // Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol. 2020, vol. 136, 110142. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2020.110142>
13. Iselin E., Kristin N., Sofie T. et al. Prevalence of hearing impairment among primary school children in the Kilimanjaro region within Tanzania // Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol. 2020, vol. 130, 109797. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2019.109797>
14. Joy DA, Sreedevi N. Temporal characteristics of stop consonants in pediatric cochlear implant users // Cochlear Implants Int. 2019, vol. 20, no. 5, pp. 242-249. <https://doi.org/10.1080/14670100.2019.1621500>
15. Maluleke N.P., Khoza-Shangase K., Kanji A. Hearing impairment detection and intervention in children from centre-based early intervention programmes // J Child Health Care. 2019, vol. 23, no. 2, pp. 232-241. <https://doi.org/10.1177/1367493518788477>
16. Meinzen-Derr J., Sheldon R.M., Henry S. et al. Enhancing language in children who are deaf/hard-of-hearing using augmentative and alternative communication technology strategies // Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol. 2019, vol. 125, pp. 23-31. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2019.06.015>
17. Nanjundaswamy M., Prabhu P., Rajanna R.K et al. Computer-Based Auditory Training Programs for Children with Hearing Impairment - A Scoping Re-

view // Int Arch Otorhinolaryngol. 2018, vol. 22, no. 1, pp. 88-93. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1602797>

18. Shoaib L, Khan S, Abbas MA, Salman A. Enabling profound hearing impaired children to articulate words using lip-reading through software application // J. Pak. Med. Assoc. 2018, vol. 68, no. 3, pp. 432-436. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29540880/>

References

1. Ignatova I.A., Fefelova V.V., Kapustina T.A., Ignatov S.V. Populyatsionnye osobennosti otopatologii u zhitel'ey Vostochnoy Sibiri [Population features of otopathology in residents of Eastern Siberia]. *Siberian Medical Journal (Irkutsk)*, 2000, no. 3, pp. 64-66.
2. Ignatova I.A., Evert L. S., Zaitseva O.I., Shilov S.N., Pokidyshcheva L.I. *Sposob otsenki audiologicheskikh pokazatelei slaboslyshashchikh. Matematicheskie metody i programmye sredstva v otsenke effektivnosti slukhoprotezirovaniia* [A method for assessing the audiological indicators of the hard of hearing. Mathematical methods and software tools for evaluating the effectiveness of hearing replacement]: medical technology. Krasnoyarsk, 2015, 68 p.
3. Kononova S.K., Barashkov N.A., Pshennikova V.G., Solov'ev A.V., Cherdonova A.M., Nikanorova A.A., Romanov G.P., Khusnutdinova E.K., Fedorova S.A., Teryutin F.M. Nekotorye bioeticheskie voprosy molekuliarno-geneticheskoi diagnostiki autosomno-retsessivnoi glukhoty 1A tipa, rasprostranennoi v iakutskoi populiatsii [Some bioethical issues of molecular-genetic diagnosis of autosomal recessive deafness type 1A, common in the Yakut population]. *Iakutskii meditsinskii zhurnal*, 2018, no. 2, pp. 79-82. <https://doi.org/10.25789/YMJ.2018.62.23>
4. Koroleva I.V. *Pomoshch' detiam s narusheniem slukha: Rukovodstvo dlia roditelei i spetsialistov* [Helping children with hearing loss: A Guide for parents and professionals]. Saint Petersburg, CARO, 2016, 304 p.
5. Kreisman M.V., Tsytsorina I.A., Kholina G.A. Chastichno implantiruemye slukhovye apparaty kak metod reabilitatsii patsientov so stoikoi konduktivnoi tugoukhost'iu [Partially implantable hearing aids as a method of rehabilitation of patients with persistent conductive hearing loss]. *Journal of Siberian Medical Sciences*, 2015, no. 3, pp. 111-119. <https://jsms.elpub.ru/jour/article/view/202>
6. Pokidyshcheva, L. I., Ignatova I.A. Korreliatsionnaia adaptometriia i metod glavnykh komponent v otsenke adaptatsionnykh vozmozhnostei immunnoi sistemy [Correlation adaptometry and the principal components method in assessing the adaptive capabilities of the immune system]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh*. 2011, no. 1(10), pp. 152-157.

7. Pokidyshcheva L.I., Ignatova I.A. Algoritmy diagnostiki narushenii slukha u shkol'nikov [Algorithms for diagnosing hearing disorders in schoolchildren]. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh*. 2017, no 3(16), pp. 590-594.
8. Rebrova O.Iu. *Statisticheskii analiz meditsinskikh dannykh. Primenenie paketa prikladnykh programm «STATISTICA»* [Statistical analysis of medical data. Application of the “STATISTICA” application software package]. M.: Media Sphere, 2002, 162 p.
9. Skazatova N.Iu., Piskunov G.Z. Rasprostranennost' boleznei ukha, gorla i nosa u gorodskogo naseleniia [Prevalence of ear, throat, and nose diseases in urban populations]. *Kremlevskaia meditsina*, 2016, no. 1, pp. 5-10. <http://kremlin-medicine.ru/index.php/km/article/view/934>
10. Chibisova S. S., Markova T. G., Alekseeva N. N. i dr. Epidemiologiia narushenii slukha sredi detei 1-go goda zhizni. [Epidemiology of hearing disorders among children of the 1st year of life]. *Vestnik otorinolaringologii*, 2018, vol. 83, no. 4, pp. 37-42. <https://doi.org/10.17116/otorino201883437>
11. Gablenz P., Hoffmann E., Holube I. Gender-specific hearing loss in German adults aged 18 to 84 years compared to US-American and current European studies. *PLoS One*, 2020, vol. 15, no. 4, e0231632. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231632>
12. Ghayedlou L., Ahmadi A., Ghorbani A. et al. Vowel duration measurement in school-age children with cochlear implant. *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.*, 2020, vol. 136, 110142. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2020.110142>
13. Iselin E., Kristin N., Sofie T. et al. Prevalence of hearing impairment among primary school children in the Kilimanjaro region within Tanzania. *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.*, 2020, vol. 130, 109797. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2019.109797>
14. Joy DA, Sreedevi N. Temporal characteristics of stop consonants in pediatric cochlear implant users. *Cochlear Implants Int.*, 2019, vol. 20, no. 5, pp. 242-249. <https://doi.org/10.1080/14670100.2019.1621500>
15. Maluleke N.P., Khoza-Shangase K., Kanji A. Hearing impairment detection and intervention in children from centre-based early intervention programmes. *J Child Health Care.*, 2019, vol. 23, no. 2, pp. 232-241. <https://doi.org/10.1177/1367493518788477>
16. Meinzen-Derr J., Sheldon R.M., Henry S. et al. Enhancing language in children who are deaf/hard-of-hearing using augmentative and alternative communication technology strategies. *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.*, 2019, vol. 125, pp. 23-31. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2019.06.015>
17. Nanjundaswamy M., Prabhu P., Rajanna R.K et al. Computer-Based Auditory Training Programs for Children with Hearing Impairment - A Scoping Re-

view. *Int Arch Otorhinolaryngol.*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 88-93. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1602797>

18. Shoaib L, Khan S, Abbas MA, Salman A. Enabling profound hearing impaired children to articulate words using lip-reading through software application. *J. Pak. Med. Assoc.*, 2018, vol. 68, no. 3, pp. 432-436. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29540880/>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Игнатова Ирина Акимовна, доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории клинической патофизиологии; профессор кафедры оториноларингологии
ФИЦ КНЦ СО РАН, КНЦ СО РАН «НИИ МПС»; Красноярский ГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого
ул. Партизана Железняка, 3г, г. Красноярск, 660022, Российская Федерация; ул. Партизана Железняка, 1, г. Красноярск, 660022, Российская Федерация
ignatovai@mail.ru

Покидышева Людмила Ивановна, кандидат технических наук, профессор кафедры вычислительной техники
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
ул. Киренского, 26, г. Красноярск, 660026, Российская Федерация
pok50gm@gmail.com

Скиданова Ольга Валерьевна, врач-сурдолог, оториноларинголог высшей категории
ГБУЗ РТ «Республиканская детская больница»
ул. Кечил-оола, 2, г. Кызыл, Республика Тыва, 667003, Российская Федерация
ms.oskidanova@mail.ru

Зайцева Ольга Исаевна, доктор медицинских наук, главный научный сотрудник лаборатории клинической патофизиологии; профессор кафедры патофизиологии
ФИЦ КНЦ СО РАН, КНЦ СО РАН «НИИ МПС»; Красноярский ГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого
ул. Партизана Железняка, 3г, г. Красноярск, 660022, Российская Федерация; ул. Партизана Железняка, 1, г. Красноярск, 660022, Российская Федерация
1081959@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Irina A. Ignatova, Dr. Sci. (Medicine), Leading Researcher of the Laboratory of Clinical Pathophysiology; Professor of the Department of Otolaryngology

*FRC KSC SB RAS, KSC SB RAS; Krasnoyarsk State Medical University
3g, Partizan Zheleznyak Str., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation;
1, Partizan Zheleznyak Str., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation
ignatovai@mail.ru*

SPIN-code: 2270-7722

ORCID: 0000-0003-3327-7631

Scopus Author ID: 56541424700

Lyudmila I. Pokidysheva, PhD (Engineering Sciences), Professor at the Department Computer Science

Siberian Federal University

26, Kirensky Str., Krasnoyarsk, 660074, Russian Federation

pok50gm@gmail.com

ORCID: 0000-0003-0995-6896

ResearcherID: K-4177-2018

Scopus Author ID: 7003600378

Olga V. Skidanova, Audiologist, Otorhinolaryngologist of the Highest Category
Republican Children's Hospital of the Republic of Tyva

2, Kechil-Oola, Str., Kyzyl, Republic of Tyva, 667003, Russian Federation

ms.oskidanova@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5229-5646

Olga I. Zaitseva, Dr. Sci. (Medicine), Chief Researcher of the Laboratory of Clinical Pathophysiology; Professor of Pathophysiology

FRC KSC SB RAS, KSC SB RAS; Krasnoyarsk State Medical University

3g, Partizan Zheleznyak Str., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation;

1, Partizan Zheleznyak Str., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation

1081959@mail.ru

SPIN-code: 2500-1508

ORCID: 0000-0001-7199-2308

ResearcherID: K-2006-2018

Scopus Author ID: 57192690998

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

AGRICULTURAL SCIENCES

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-114-127

УДК 633.11:631.95:631.86

ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ЛЕСНОЙ ПОЛОСЫ

Е.В. Семинченко

Обоснование. В статье изложены материалы исследований по влиянию полезащитных лесных полос на рост и развитие ярового ячменя. Объектом исследований является яровая ячмень сорта Медикум 139. Исследования проводились в Землепользовании «Городищенское», кадастровый номер 34:03:000000:6.

Цель работы – обосновать роль осадков и других факторов для формирования урожая ярового ячменя под влиянием лесной полосы.

Материалы и методы. Учет урожайности определялся на площадках 1 м² на удалении соответственно 5, 10, 30Н. Контролем служил открытый участок без лесной полосы. Снопы отбирали в трехкратной повторности, замет обмолачивали. Полученное зерно взвешивали и проводили пересчет урожайности на 1 га. Урожай зерна, полученный при взвешивании, приводился к 14%-й влажности и 100%-й частоте. Длина стебля, количество колосков и зерен в колосе определялись визуально. Масса 1000 зерен определялась на технико-химических весах.

Результаты. Анализ данных показал, что запасы продуктивной влаги на межполосной клетке распределены неравномерно. В условиях агролесоландшафта наибольший весенний влагозапас накапливается в зоне от 5Н до 15Н от полезащитных лесных полос. Исследования показали, низкий ГТК приходится на летний период (июль-август) практически во все годы исследований. Обеспеченным по продуктивности накоплению осадков был 2016 год, где ГТК составил

0,7, в остальные годы засушливый 0,3-0,5. Структурный анализ ярового ячменя показал, что наибольшая урожайность была на расстоянии 10Н и составила у ярового ячменя – 1,4 т/га. В статье приведены результаты корреляционно-регрессивного анализа полученных данных по взаимосвязи урожая ярового ячменя с составляющими факторами (осадки, запасы почвенной влаги), влияющими на урожайность ярового ячменя за 2016–2020 годы. Получены результаты, приведенные в графической корреляции, и обоснована закономерность.

Заключение. Результаты исследования свидетельствуют о важной роли лесных полос. Областью применения рекомендаций является зона почв Нижнего Поволжья.

Ключевые слова: лесные полосы; яровой ячмень; запас продуктивной влаги; урожайность; коэффициент корреляции

Для цитирования. Семинченко Е.В. Влияние погодных условий на урожайность ярового ячменя в зоне влияния лесной полосы // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 2. С. 114-127. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-114-127

INFLUENCE OF WEATHER CONDITIONS ON THE YIELD OF SPRING BARLEY IN THE FOREST BELT AREA

E.V. Seminchenko

Justification. The article presents research materials on the influence of protective forest belts on the growth and development of the spring barley. The object of research is the spring barley of the Medicum 139 variety. The research was carried out in the Land “Gorodishchenskoe”, cadastral number 34:03:000000:6.

Purpose of the work is to assess the role of precipitation and other factors for the formation of the spring barley crop under the influence of the forest belt.

Materials and methods. Yield accounting was determined on sites of 1 m² at a distance of 5, 10, and 30H, respectively. The control was an open area without a forest belt. Sheaves were selected in three-fold repetition, the mark was threshed. The resulting grain was weighed and the yield per 1 ha was recalculated. The grain yield obtained during weighing was adjusted to a moisture content of 14% and a frequency of 100%. The length of the stem, the number of spikelets and grains in the ear were determined visually. Mass of 1000 grains was determined on a technical and chemical scale.

Results. *The analysis of the data showed that the reserves of productive moisture on the interstrip cell are unevenly distributed. In the conditions of the agroforest landscape, the greatest spring moisture reserve accumulates in the zone from 5H to 15H from the protective forest belts. Studies have shown that the low HTC (hydrothermal coefficient) occurs in the summer period (July-August) in almost all years of research. The most productive accumulation of precipitation was in 2016, where the HTC was 0.7, and in the other years, the dry period was 0.3-0.5. Structural analysis of spring barley showed that the highest yield was at a distance of 10H and was 1.4 t/ha for spring barley. The article presents the results of a correlation and regression analysis of the data obtained on the relationship of the spring barley harvest with the constituent factors (precipitation, soil moisture reserves) that affect the yield of spring barley for 2016–2020. The results given in the graphical correlation are obtained and the regularity is justified.*

Conclusion. *The results of the study indicate the important role of forest belts. Area of application of the recommendations is the soil zone of the Lower Volga region.*

Keywords: *forest belts; spring barley; productive moisture reserve; yield; correlation coefficient*

For citation. *Seminchenko E.V. The influence of weather conditions on the yield of spring barley in the zone of influence of the forest belt. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 114-127. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-114-127*

Климатические условия Нижнего Поволжья связаны с зоной недостаточного и неустойчивого увлажнения, где почвенная влага напрямую зависит от атмосферных осадков. Агроклиматические условия ухудшаются активным ветровым режимом, частыми суховеями, что усиливает испарение и резко снижает запасы продуктивной влаги в почве [1]. Внедрение наиболее засухоустойчивых культур в структуру посевов позволит повысить экономическую эффективность данной отрасли [2].

В последнее время на территории Волгоградской области участились весенние и раннелетние засухи. В некоторые годы в течении мая-июня выпадало до 10 мм осадков при норме 30-40 мм. Во второй половине лета их было значительно больше [3].

Основная мелиоративная роль в формировании урожая злаковых культур принадлежит лесным полосам (ЛП). Все приемы, рассматриваемые в системе лесных полос, влияют на конечный продукт – урожай. Лесные полосы, оказывающие определенное влияние на экологию полей, тем самым повышая мелиоративный эффект (накопление и сохранение продуктивной

влаги), а значит сохранение плодородия почвы, тем самым увеличивая экономическую значимость защитных лесных насаждений [4].

Интенсивность транспирации сельскохозяйственных культур, защищенных лесными полосами, уменьшается, что особенно проявляется в засушливые годы. Продуктивность транспирации (количество органического вещества в граммах, образуемое на 1 кг испарившейся воды) сельскохозяйственных культур, защищенных лесными полосами, повышается [5, 6]. Большое значение для повышения урожайности сельскохозяйственных культур имеет накопление и распределение снега. В общей сумме годовых осадков снег занимает 30-35% или 100-150 мм. В сухой степи снег является основным источником влаги. В отличие от осадков снег меньше испаряется и может перераспределяться [7, 8]. В южных районах, где снежный покров небольшой мощности, дни с метелями бывают очень редко. Значительное влияние на накопление и распределение снега оказывают лесные полосы, которые способствуют увеличению запасов влаги в почве в пределах 20-47 мм за счет зимних осадков [9, 10]. Эту способность погодных условий следует использовать для выращивания зерновых культур с учетом правильного подбора адаптивной обработки почвы. Гидротермический коэффициент уменьшается с 0,8 в западных районах до 0,4 в восточных и юго-восточных, т.е. территория полностью находится в засушливой и очень засушливой зонах. Осадки летнего периода наряду с осенне-зимними запасами влаги в почве являются одним из решающих условий формирования урожая зерновых культур в условиях богарного земледелия [11, 12].

Защитные насаждения ветроломного назначения Городищенского района занимают 7 тыс.га. К настоящему времени в них сформировались различные структуры. Лесополосы способствуют изменению скоростного режима ветрового потока. На защищенных участках полей формируется особый микроклимат. Такие явления приводят к изменению количественных и качественных показателей урожая сельскохозяйственных культур [12, 13, 14]. Лесные полосы оказывают воздействие на прилегающее межполосное пространство, приводя к изменению всей агроэкосистемы в целом. Исследованиями доказано, что в течении вегетационного периода испарение на защищенной полосами территории уменьшается на 25%. В засушливых районах при общем недостатке влаги в почве этот эффект имеет большое значение [15, 16, 17].

Двухлетними наблюдениями в Каменной степи Воронежской области было установлено, что под влиянием лесных полос уменьшается испарение влаги с паровых полей на одну треть по сравнению с испарением с таких же полей, расположенных на открытой местности [18].

Поэтому фенологические наблюдения составляют важный момент в объяснении изменений продукционного процесса под влиянием полос в отличие от открытого пространства. Установление времени наступления и характера прохождения фаз развития сельскохозяйственных растений является своеобразным индикатором состояния растений в окружающей среде, которое позволяет выявить особенности экологической среды на поле, создаваемой лесной полосой [19].

Материалы и методы

Исследования проводились в 2016–2020 гг в Землепользовании «Городищенское» кадастровый номер 34:03:000000:6, в зоне влияния лесных полос на опытном поле Нижне-Волжского НИИСХ. Почва опытного участка – светло-каштановая тяжелосуглинистая с содержанием гумуса в пахотном слое 1,74%, pH почвенного раствора 8,1. Содержание легкогидролизуемого азота 2-7 мг, подвижного фосфора – 3-11 мг и обменного калия – 30-40 мг/100 г почвы. Лесная полоса высотой 5 метров, 4-х рядная. В её составе встречается клен остролистный (*Acer platanoides*), вяз обыкновенный (*Ulmus laevis*) уплотнена смородиной красной (*Ribes rubrum*) и смородиной черной (*Ribes nigrum*), встречается акация белая (*Robinia pseudoacacia*). Опыт закладывался согласно методикам сухостепной зоны Нижнего Поволжья [20, 21]. Учет урожайности определялся на площадках 1 м² на удалении соответственно 5, 10, 30Н. Контролем служил открытый участок без лесной полосы. Снопы отбирали в трехкратной повторности, замет обмолачивали. Полученное зерно взвешивали и проводили пересчет урожайности на 1 га. Урожай зерна, полученный при взвешивании, приводился к 14 %-й влажности и 100%-й частоте. Длина стебля, количество колосков и зерен в колосе определялось визуально. Масса 1000 зерен определялось на технико-химических весах. Для выяснения факторов, влияющих на формирование урожая были обработаны данные потребления влаги растениями ячменя по фазам развития, с помощью программы для ЭВМ для получения функциональных связей. Основная обработка проводилась почвообрабатывающим орудием ОЧО – 5-40 на глубину 0,32-0,35 м, оснащенным стойками с широким долотом с межследовым расстоянием между стойками 0,4 м. Высевали яровой ячмень Медикум 139, норма высева 3,8 млн. шт/га. Сумма осадков за 2018–2020 сельскохозяйственный год составила: 374,9; 393,0 и 387,3 мм против среднееголетнего значения 339,2 мм.

Наблюдения за динамикой движения продуктивной влаги в почве показали, что накопление влаги вблизи лесной полосы не уступает запасам

влаги в классических парах и более того предотвращает промерзание и образование ледяной корки из-за способности накапливать высокий слой снега. Высота снежного покрова вблизи ЛП составляла до 1,0 м, в то время как на парах высота варьировала от 25 до 16 см соответственно.

Ранневесенние наблюдения в марте месяца показали хорошие результаты по усвоению осенне-зимних осадков (рис. 1).

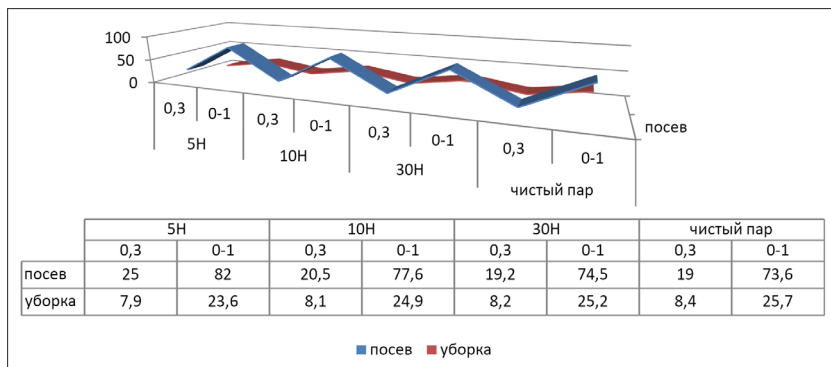


Рис. 1. Динамика запасов продуктивной влаги за период вегетации ярового ячменя в слое 0-100 см (среднее за 2016-2020 гг)

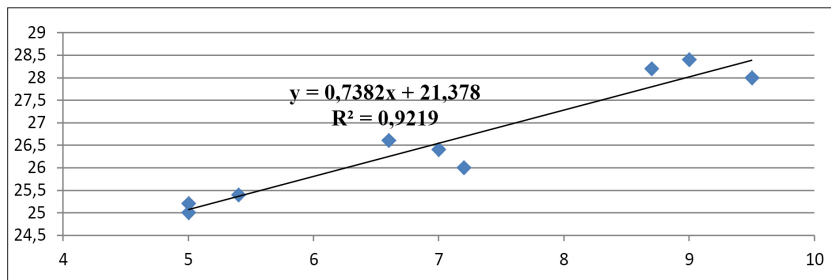


Рис. 2. Корреляционная зависимость урожая ярового ячменя от запасов продуктивной влаги

Паровые поля теряли влагу на естественное испарение, а также при культивации, наибольшее ее снижение к моменту сева озимой пшеницы произошло на чистом пару – 73,6 мм и на расстоянии 30Н от ЛП – 74,5 мм. Поле, расположенные вблизи ЛП за счет накопленной растительной массы ЛП сдерживали испарение воды и началу посева ярового ячменя запас продуктивной влаги составил 77,6-82,0 мм в зависимости от рассто-

нения от ЛП. В посевах ярового ячменя наблюдается тенденция к полному использованию продуктивной влаги почвы к уборке, ГТК за период вегетации составил 0,5.

Согласно, полученным данным представленным на рисунке 2 наибольшую корреляционную зависимость от такого показателя как запас влажности в продуктивном слое почвы 0-30 см имеют посевы яровых культур при традиционной технологии возделывания с коэффициентом детерминации 0,921.

Исследования, которые заключались в учете накопления и усваивания атмосферных осадков растениями в пахотном слое почвы (0-30 см) в зависимости от удаления от ЛП имеют важную роль в сухостепной зоне Нижнего Поволжья. Годы с разной интенсивностью выпадения осадков и температурным режимом отражены коэффициентам ГТК (рис. 3).

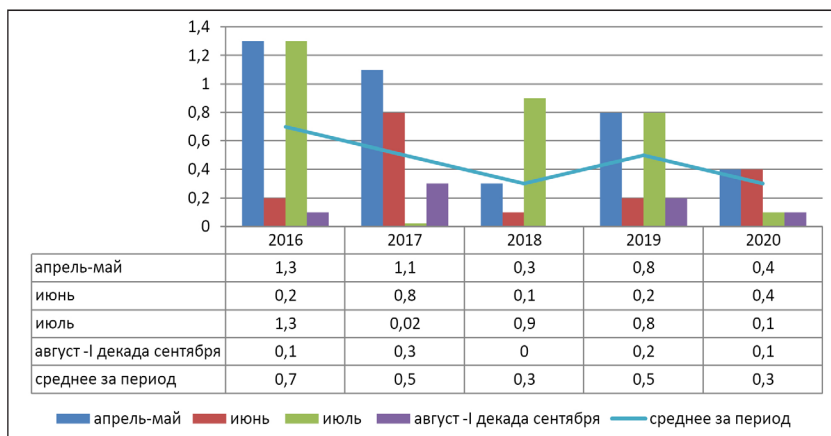


Рис. 3. Распределение ГТК по месяцам за период парования 2016–2020 гг.

Климат полупустынной зоны Волгоградской области отличается недостатком атмосферных осадков в весенне-летний период, высокими температурами в июне-июле-августе и сильным нагреванием почвы в этот период, что провоцирует сильное испарение и низкое усвоение летних осадков. Данные на рисунке 3 показывают, что самый низкий ГТК именно в летний период (июль-август) практически во все года исследования. Это негативно сказывалось на накоплении влаги в пахотном слое и как следствие низкой микробиологической активностью почвы в этот период. Самым обеспеченным по продуктивности накопления осадков оказался

2016 год, где ГТК в среднем за период самый высокий 0,7. Остальные годы можно считать засушливыми с ГТК 0,3-0,5.

Проведенный структурный анализ показал, что урожай ярового ячменя самый высокий был на расстоянии 10Н от ЛП и составил 1,4 т/га, немного ниже на расстоянии 5Н и 30Н – 1,2-1,3 т/га (рис. 4).

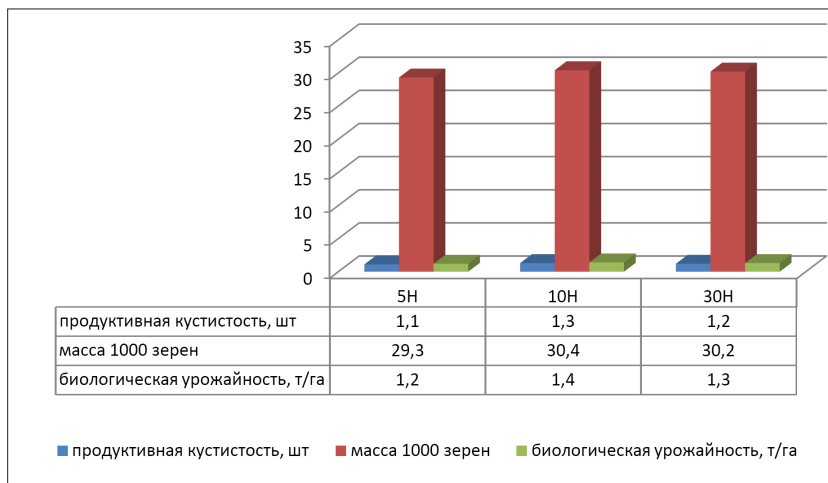


Рис. 4. Структурный анализ и урожайность ярового ячменя в среднем за 2016–2020 гг.

Результаты корреляционного анализа зависимости урожайности и количества зерен с колоса от наиболее влияющих на продуктивность культур критериев (влажность почвы в слое почвы 0-30 см (X_1) и метровом слое (X_2) почвы, среднесуточных температур (X_6) и относительной влажности воздуха (X_7), за вегетационный период, осадков (X_4), плотности (X_8) почвы и комплексных показателей – ГТК (X_3) и суммарного водопотребления (X_5) проведенного за 2016-2020 гг., когда метеоусловия складывались по-разному и различно влияли на урожайность, представлены коэффициентами корреляции Пирсона (рис. 5).

Культура ячмень считается более засухоустойчивой и более приспособленной для выращивания в острозасушливых условиях. Поэтому и коэффициент корреляции в графике распределяется с различной градацией (рис.3). Очень требователен оказался ячмень к запасам влаги в продуктивном слое почвы (X_2). От фактора X_1 (запас почвенной влаги в слое 0-30 см) зависимость стабильно низкая по Y_2 , чем Y_1 , по всей видимости потому,

что нехватка влажности именно в момент формирования зерна приводит к щуплости, низкому качеству и весу и как следствие снижает общую урожайность зерна. Практически по всем факторам X именно количества зерен с колоса (Y_2) имеет более тесную корреляцию. Эта тенденция к росту зависимости объясняется важностью именно зерна полностью отвечать за качество и количество урожая. Отрицательные коэффициенты корреляции наблюдаются при взаимосвязи со среднесуточной температурой (X_5). В среднем по фактору урожайности (Y_1) коэффициент $R^2=0,18^*$, с самой низкой зависимостью на расстоянии 30Н от ЛП. По второму фактору Y_2 , $R^2=0,18^*$ в среднем с более тесной зависимостью на расстоянии 5Н на удалении от ЛП.

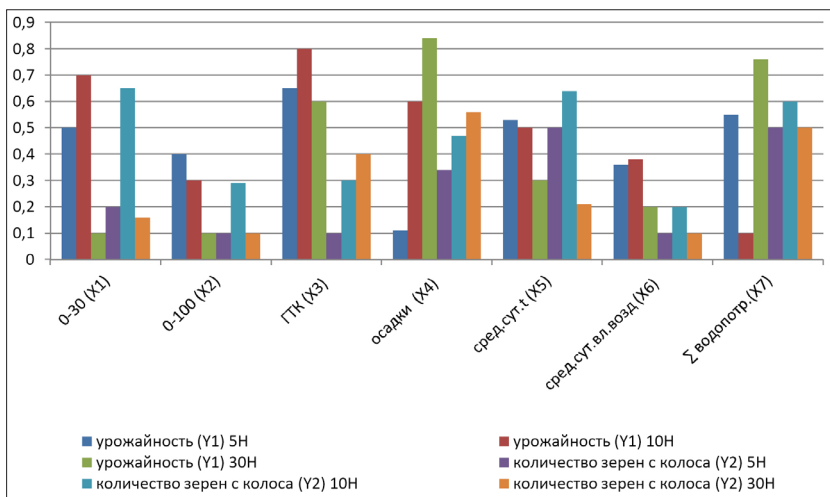


Рис. 5. Коэффициент корреляции урожайности (Y_1) и количества зерен с колоса (Y_2) от различных факторов вегетационного периода ячменя, 2016–2020 гг.

Корреляционный анализ факторов по ячменю доказал засухоустойчивость этой культуры и приспособленность к метеоусловиям полупустынной зоны.

Корреляция ярового ячменя проводилась за период 2016–2020 гг., которые в большинстве своем были засушливыми либо острозасушливыми, ГТК 0,2...0,7 (исключение 2016 год с ГТК-0,9). Постоянные почвенные и воздушные засухи, испарение влажности из почвы, острая нехватка влаги для роста и развития растений и формирования зерна демонстрирует, что

ячмень, является самой оптимальной культурой для выращивания в остро-засушливых условиях независимо от влагообеспеченности года.

Заключение

Таким образом, полезащитные лесные полосы положительно влияют на биометрические показатели ярового ячменя, урожайность, на улучшение водного режима почвы, снегозадержание, так же нельзя забывать о своевременном уходе за посевами, для получения лучшего урожая.

Список литературы

1. Беляков А.М., Солонкин А.В. и др. Региональная адаптивно-ландшафтная система земледелия Нижнего Поволжья. Волгоград: Принт, 2012. С. 22-24.
2. Вертикова Е.А., Кузнецова А.Н. Изучение селекционных линий сахарного сорго по комплексу признаков в условиях Нижнего Поволжья // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2018. Т. 10, № 1. С. 12-29. <https://doi.org/10.12731/wsd-2018-1-12-29>
3. Замятин С.А., Измestьев В.М., Виноградов Г.М., Лапшин Ю.А., Виноградова И.А. Тенденции в изменении климата, влияние на земледелие // Земледелие. 2010. № 4. С. 13-14.
4. Полуэктов Е.В., Балакай Г.Т. Влияние защитных лесных полос на урожайность сельскохозяйственных культур // Сборник трудов «Экологические проблемы развития агроландшафтов и способы повышения их продуктивности», 2018. С. 504-507.
5. Al-Ghzawi A.L.A., Al-Ajlouni Z.I., Al-Sane K.O., Bsoul E.Y., Musallam I., Khalaf Y.B., Al-Hajaj N., Al-Tawaha A. R., Aldwairi Y., Al-Saqqar H. Yield stability and adaptation of four spring barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars under rainfed conditions // Research on Crops, 2019, vol. 20, no. 1, pp. 10. <http://dx.doi.org/10.31830/2348-7542.2019.002>
6. Адамень Ф.Ф., Паштецкий В.С., Плугатарь Ю.В. Полезащитные лесные полосы как основа устойчивого развития агроландшафта // Зрошуване землеробство, 2012. № 57. С. 36-40.
7. Верин А.Ю., Медведев И.Ф., Губарев Д.И., Деревягин С.С., Граов В.П. Влияние лесной полосы на формирование экологических факторов агроландшафта // Аграрный научный журнал. 2018. №12. С. 12-15. <https://doi.org/10.28983/asj.v0i12.646>
8. Балакай Н.И. Полезащитные лесные полосы // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2013. №50. С.17-24..
9. Каштанов А.И. Земледелие: избранные труды. Россельхозакадемия-Москва, 2008. 685 с.

10. Шурьгин А.В. Влага в богарном земледелии – это дар // Фермер. 2017. №2. С. 28-30.
11. Кадыров М.А., Сенченко В.Г., Батуро Ф.Н. Ячмень: как, где, когда и всегда с прибылью // Белорусское сельское хозяйство. 2006. №1. С. 21-23.
12. Borrego-Benjumea A., Carter A., Glenn A.J., Badaea A. Impact of excess moisture due to precipitation on barley grain yield in the Canadian prairies // Canadian Journal of Plant Science, 2019, vol. 99, no. 1, pp. 93-96. <https://doi.org/10.1139/cjps-2018-0108>
13. Sarychev A.N. Peculiarities of Ecological Conditions for the Formation of Spring Barley Bioproductivity in the Arid Zone of Volgograd Oblast on Lands Exposed to Deflation // Arid Ecosystems, 2018, vol. 8, no. 2, pp.129-134. <https://doi.org/10.1134/S2079096118020063>
14. Танюкевич В.В. Надземная фитомасса лесных полос, их влияние на ветровой режим и влагонакопление агроландшафтов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. №91. С. 986-1003.
15. Handlířová M., Lukas V., Smutný V. Yield and soil coverage of catch crops and their impact on the yield of spring barley // Plant. Soil and Environment, 2017, vol. 63, no. 5, pp. 195-200. <https://doi.org/10.17221/801/2016-PSE>
16. Cammarano D. Rainfall and temperature impacts on barley (*Hordeum vulgare* L.) yield and malting quality in Scotland Field Crops Research // Field Crops Research, 2019, vol. 241, no. 1, art. 107559. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107559>
17. Lu W., Adamowicz W., Jeffrey S.R., Goss G.G., Faramarzi M. Crop Yield Response to Climate Variables on Dryland versus Irrigated Lands // Canadian Journal of Agricultural Economics, 2018, vol. 66, no. 2, pp. 283-303. <https://doi.org/10.1111/cjag.12149>
18. Чувьочкин А.Л., Яблонских Л.А., Девятова Т.А. Качество поверхностных вод Воронежского водохранилища и его влияние на здоровье населения г. Воронежа // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2018. №2. С. 270-277. <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/chembio/2018/02/2018-02-34.pdf>
19. Шатилов И.С., Каюмов М.К. Научные основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 1978. 335 с.
20. Смирнов Б.М. Рекомендации по методике проведения наблюдений и исследований в полевом опыте. Саратов, 1973. 223 с.
21. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропроимздат, 1985. 315 с.

References

1. Beljakov A.M., Solonkin A.V. et al. *Regional'naja adaptivno-landshaftnaja sistema zemledelija Nizhnego Povolzh'ja* [Regional adaptive-landscape farming system of the Lower Volga region]. Volgograd: Print Publ., 2012, pp. 22-24.
2. Vertikova E. A., Kuznetsova A.N. Izuchenie selektsionnykh liniy sakharnogo sorgo po kompleksu priznakov v usloviyakh Nizhnego Povolzh'ya [The study of breeding lines of sweet sorghum for complex features in the lower Volga Region]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2018, vol. 10, no. 1, pp. 12-29. <https://doi.org/10.12731/wsd-2018-1-12-29>
3. Zamjatin S.A., Izmet'ev V.M., Vinogradov G.M., Lapshin Ju.A., Vinogradova I.A. Tendencii v izmenenii klimata, vlijanie na zemledelie [Climate change trends, impact on agriculture]. *Zemledelie*, 2010, no. 4, pp. 13-14.
4. Polujektov E.V., Balakaj G.T. Vlijanie zashhitnykh lesnykh polos na urozhajnost' sel'skohozjajstvennykh kul'tur [The influence of protective forest belts on the productivity of agricultural crops]. *Sbornik trudov «Jekologicheskie problemy razvitiya agrolandshaftov i sposoby povyshenija ih produktivnosti»* [Collection of works "Environmental problems of the development of agricultural landscapes and ways to increase their productivity"], 2018, pp. 504-507.
5. Al-Ghzawi A.L.A., Al-Ajlouni Z.I., Al-Sane K.O., Bsoul E.Y., Musallam I., Khalaf Y.B., Al-Hajaj N., Al-Tawaha A. R., Aldwairi Y., Al-Saqqar H. Yield stability and adaptation of four spring barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars under rainfed conditions. *Research on Crops*, 2019, vol. 20, no. 1, pp. 10. <http://dx.doi.org/10.31830/2348-7542.2019.002>
6. Adamen' F.F., Pashteckij V.S., Plugatar' Ju.V. Polezashhitnye lesnye polosity kak osnova ustojchivogo razvitiya agrolandshafta [Protective forest belts as the basis for sustainable development of the agricultural landscape]. *Zroshuvane zemlerobstvo*, 2012, № 57, pp. 36-40.
7. Verin A.Ju., Medvedev I.F., Gubarev D.I., Derevjagin S.S., Graov V.P. Vlijanie lesnoj polosity na formirovanie jekologicheskikh faktorov agrolandshafta [The influence of the forest belt on the formation of ecological factors of the agricultural landscape]. *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*, 2018, no. 12, pp. 12-15. <https://doi.org/10.28983/asj.v0i12.646>
8. Balakaj N.I. Polezashhitnye lesnye polosity [Protective forest belts]. *Puti povyshenija jeffektivnosti oroshaemogo zemledelija* [Ways to improve the efficiency of irrigated agriculture], 2013, №50, pp. 17-24.
9. Kashtanov A.I. *Zemledelie. Izbrannye trudy* [Agriculture: Selected Works]. Ros-sel'hoz akademija - Moskva, 2008, 685 p.

10. Shurygin A.V. Vлага v bogarnom zemledelii - jeto dar [Moisture in rainfed agriculture is a gift]. *Fermer*, 2017, №2, pp. 28-30.
11. Kadyrov M.A., Senchenko V.G., Baturo F.N. Jachmen': kak, gde, kogda i vseгда s pribyl'ju [Barley: how, where, when and always profitably]. *Beloruskoe sel'skoe hozjajstvo*, 2006, №1, pp. 21-23.
12. Borrego-Benjumea A., Carter A., Glenn A.J., Badea A. Impact of excess moisture due to precipitation on barley grain yield in the Canadian prairies // *Canadian Journal of Plant Science*, 2019, vol. 99, no. 1, pp. 93-96. <https://doi.org/10.1139/cjps-2018-0108>
13. Sarychev A.N. Peculiarities of Ecological Conditions for the Formation of Spring Barley Bioproductivity in the Arid Zone of Volgograd Oblast on Lands Exposed to Deflation // *Arid Ecosystems*, 2018, vol. 8, no. 2, pp. 129-134. <https://doi.org/10.1134/S2079096118020063>
14. Tanjukevich V.V. Nadzemnaja fitomassa lesnyh polos, ih vlijanie na vetrovoj rezhim i vlagonakoplenie agrolandshaftov [Aboveground phytomass of forest belts, their influence on the wind regime and moisture accumulation of agricultural landscapes]. *Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2013, no. 91, pp. 986-1003.
15. Handlířová M., Lukas V., Smutný V. Yield and soil coverage of catch crops and their impact on the yield of spring barley. *Plant. Soil and Environment*, 2017, vol. 63, no. 5, pp. 195-200. <https://doi.org/10.17221/801/2016-PSE>
16. Cammarano D. Rainfall and temperature impacts on barley (*Hordeum vulgare* L.) yield and malting quality in Scotland Field Crops Research. *Field Crops Research*, 2019, vol. 241, no. 1, art. 107559. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107559>
17. Lu W., Adamowicz W., Jeffrey S.R., Goss G.G., Faramarzi M. Crop Yield Response to Climate Variables on Dryland versus Irrigated Lands. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 2018, vol. 66, no. 2, pp. 283-303. <https://doi.org/10.1111/cjag.12149>
18. Chuvychkin A.L., Jablonskih L.A., Devjatova T.A. *Vestnik VGU. Serija: Himija. Biologija. Farmacija*, 2018, no. 2, pp. 270-277. <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/chembio/2018/02/2018-02-34.pdf>
19. Shatilov I.S., Kajumov M.K. *Nauchnye osnovy programmirovanija urozhaev sel'skohozjajstvennyh kul'tur* [Scientific foundations of programming crop yields]. M.: Kolos, 1978, 335 p.
20. Smirnov B.M. Rekomendacii po metodike provedenija nabljudenij i issledovanij v polevom opyte [Recommendations for the observation and research methodology in the field experiment]. Saratov, 1973, 223 p.

21. Dosphehov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Field experiment technique (with the basics of statistical processing of research results)]. M.: Agropromizdat, 1985, 315 p.

ДАнные ОБ АВТОРЕ

Семинченко Елена Валерьевна, н.с., аспирант

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

*Университетский пр-т, 97, Волгоград, 400062, Российская Фе-
дерация*

eseminchenko@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Elena V. Seminchenko, Researcher, Postgraduate Student

*Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Pro-
tective Afforestation of the Russian Academy of Sciences*

97, Universitetsky prospect, Volgograd, 400062, Russian Federation

eseminchenko@mail.ru

SPIN-code: 2756-2340

ORCID: 0000-0003-3155-9563

Scopus Author ID: 57222146275

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-128-137

УДК 574.5:639.31

АКВАКУЛЬТУРА В КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

М.С. Дурсенев, С.А. Чиркин

Согласно «Стратегии развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года», в регионах, не имеющих выходов к морям, товарное рыбоводство в ближайшие годы должно стать приоритетным в развитии их рыбохозяйственных комплексов. К числу этих регионов относится и Кировская область, имеющая почти вековой опыт развития аквакультуры.

***Цель.** Анализ текущего состояния, проблем и перспектив устойчивого развития товарной аквакультуры в Кировской области.*

***Материалы и методы.** Материалом для статьи послужили отчетные данные государственных органов о развитии рыбного хозяйства Кировской области за последние двадцать лет, а также данные периодических изданий с применением к ним статистических и монографических методов анализа.*

***Результаты.** Показано, что современное состояние отрасли товарного рыбоводства в Кировской области можно охарактеризовать как кризисное. При этом, у нее большой потенциал, который до сих пор остается неиспользованным. Выявлены проблемы, которые сдерживают развитие аквакультуры в регионе. Отмечено социальное значение аквакультуры для развития сельских территорий Кировской области. С целью развития аквакультуры обоснована необходимость разработки новых методов и нетрадиционных решений, обеспечивающих поступательный рост объемов производства товарной рыбной продукции высокого качества.*

***Заключение.** Высокотехнологичная аквакультура способствует социально-экономическому развитию Кировской области и улучшению качества жизни ее населения. Эта задача будет реализована в том случае, если частная заинтересованность в развитии данной отрасли получит подкрепление в виде благоприятных условий со стороны государства.*

***Ключевые слова:** аквакультура; водоёмы; рыба; рыбоводство*

***Для цитирования.** Дурсенев М.С., Чиркин С.А. Аквакультура в Кировской области. Проблемы и перспективы // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 2. С. 128-137. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-128-137*

AQUACULTURE IN THE KIROV REGION. PROBLEMS AND PROSPECTS

M.S. Dursenev, S.A. Chirkin

According to the «Strategy for the Development of the Fisheries Industry of the Russian Federation for the Period up to 2030», in regions that do not have access to the sea, commercial fish farming should become a priority in the development of their fishery complexes. Among these regions is the Kirov region, which has almost a century of experience in the development of aquaculture.

Purpose. *The purpose of the research was to study the current state, the problems and the prospects for sustainable development of commercial aquaculture in the Kirov region.*

Materials and methods. *Data for this study were collected from the state bodies' reports on the development of the fish industry of the Kirov region over the past twenty years, as well as from periodicals with the application of statistical and monographic methods of analysis to them.*

Results. *The results of the study show that the current state of the commercial fish farming industry in the Kirov region can be characterized as a crisis. At the same time, it has great potential, which still remains untapped. The problems that hinder the development of aquaculture in the region have been identified. The social significance of aquaculture for the development of rural areas of the Kirov region is noted. With the aim of developing aquaculture, the necessity of developing new methods and non-traditional solutions was substantiated to ensure a progressive increase in the production of high-quality marketable fish products.*

Conclusion. *In short, high-tech aquaculture can contribute to the socio-economic development of the Kirov region and to the improvement of the quality of life of its population. This task will be realized if private interest in the development of this industry is reinforced in the form of favorable conditions on the part of the state.*

Keywords: *aquatic culture; water bodies; fish; fishery*

For citation. *Dursenev M.S., Chirkin S.A. Aquaculture in the Kirov Region. Problems and prospects. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 128-137. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-128-137*

Введение

Принятая Правительством России в 2019 году «Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года» предусматривает увеличение объема производства продукции товар-

ной аквакультуры к 2030 году до 618 тысяч тонн. При этом, для регионов, не имеющих выходов к морям, товарное рыбоводство отмечено в качестве приоритетного в развитии их рыбохозяйственных комплексов [13].

Рыбоводство в Кировской области в настоящее время нельзя отнести к успешно развивающимся отраслям сельского хозяйства. В связи с этим рыбный рынок региона сегодня на 96-97% заполняется привозной продукцией. Данная ситуация выглядит исключительной, поскольку экологические и климатические условия области, а также имеющиеся на её территории рыбохозяйственные акватории, дают возможность развивать здесь товарное рыбоводство и выращивать широкий спектр рыб.

Цель

Анализ текущего состояния, проблем и перспектив устойчивого развития товарной аквакультуры в Кировской области в контексте системной модернизации национального хозяйства России.

Материалы и методы

Материалом для статьи послужили отчетные сведения о развитии рыбного хозяйства Кировской области за последние двадцать лет: данные Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Кировской области, Территориального управления Федерального агентства по рыболовству, а также данные периодических изданий с применением к ним статистических и монографических методов анализа.

Результаты

Потенциал для развития аквакультуры в Кировской области довольно велик. Здесь протекает почти 20 тысяч рек, самыми крупными из которых являются Вятка, Молома, Луза, Пижма, Кобра и Чепца. На территории области расположены 38 водохранилищ различного назначения общей площадью 8222 гектаров. Кроме того, имеются 3268 озер общей площадью 17150 гектаров и 1024 прудов площадью 6168 гектаров. Южная часть области относится к первой зоне прудового рыбоводства с естественной рыбопродуктивностью [1].

Начало отрасли рыборазведения в Кировской области было положено в 1940-е годы, когда завезенным посадочным материалом было зарыблено свыше тридцати колхозных водоемов. В 1960-1970-е годы здесь появились первые полносистемные прудовые хозяйства – Талицкий госрыбхоз и Рыбхоз «Филипповка» Кирово-Чепецкого района, чему способствова-

ла централизованная координация со стороны Областного сельхозуправления и организации «Кироврыбхоз». В 1980-е годы были организованы индустриальные рыбоводные цехи в Омутнинске и на Мурыгинской бумажной фабрике, а также тепловодное рыбоводческое предприятие при Кировской ТЭЦ-5.

В течение двух последних десятилетий индустриальные рыбоводческие хозяйства Кировской области стали собственностью открытых и закрытых акционерных обществ, а некоторые получили статус фермерских хозяйств. Но, независимо от форм собственности, отрасль рыбоводства в Кировской области в данный момент находится в кризисном состоянии. Так, по объемам выращенной рыбы (в 2000-2010 годах этот показатель составлял в среднем 150 тонн в год, а в 2010-2019 годах – 200 тонн), регион заметно уступает другим субъектам Приволжского федерального округа [7].

Производством рыбы в Кировской области в настоящее время занимается около 50 организаций и частных лиц. Из них только одно хозяйство производит более 30 тонн рыбы в год и еще 5-6 хозяйств выращивают около 10 тонн. Остальные мелкие рыбоводческие хозяйства в небольших приусадебных водоемах и прудах выращивают от нескольких десятков килограммов до 1 тонны для собственного потребления и частично с целью реализации. Основу выращивания составляют карп, стерлядь, форель, белый амур и щука.

Наиболее крупным пользователем акватории рыбохозяйственного значения является ООО «Рыбоводное хозяйство “Нептун”». Общая земельная площадь данного рыбхоза составляет 1096 гектаров. Из них пруды занимают 730 гектаров (10 нагульных прудов, 14 выростных и 5 зимовальных). Основным объектом аквакультуры для рыбхоза является карп и его гибриды.

Второе по значимости рыбное хозяйство области – ООО «Омутнинское рыбное хозяйство». Это форелевое хозяйство, располагающее водоемом площадью 300 гектаров, производит в год около 20 тонн рыбы.

На Куменском водохранилище промышленное рыболовство осуществляет ООО «Природа». На прудах Кулапинском и Верхнесавальском по течению реки Игрюк рыбопромысловыми участками располагает ООО «Агрофирма “Савали”». ООО «Надежда» является пользователем рыбопромыслового участка на озере Безымянном в Афанасьевском районе, а ООО «Весна» – на Тобольском пруду [15].

Препятствия, стоящие сегодня на пути всех рыбоводческих хозяйств Кировской области, – это высокая зависимость их от импортных кормов,

слабое развитие инфраструктуры рынка, нехватка квалифицированных специалистов, отсутствие инвестиций в развитие отрасли и, как результат, устаревшая материально-техническая база и ограниченные возможности для устойчивого выхода на рынок [2-5].

Выход из этой ситуации и дальнейшее экономически эффективное развитие рыбоводства в области, по нашему мнению, заключаются в совершенствовании следующих параметров региональной аквакультуры.

Прежде всего, сегодня существует необходимость разработки новых, нетрадиционных технологических подходов и решений, которые смогут обеспечить эффективный рост объемов выработки товарной рыбной продукции высокого качества с минимальными затратами материально-технических ресурсов.

С этой целью в нормативно-правовую базу региона необходимо внести дополнения и изменения, призванные, прежде всего, конкретизировать использование рыбопромысловых участков по их целевому назначению. В Кировской области целесообразно принять региональный закон «О развитии рыбохозяйственного комплекса», в котором были бы уточнены правовые нормы в сфере сохранения, изучения, воспроизводства и использования водных ресурсов [6].

Другое направление работы – меры государственной поддержки зарыбления водоемов, помощь среднему и малому предпринимательству, система экономического стимулирования для увеличения объемов выращивания и реализации товарной рыбы. Необходимо содействовать развитию отлаженного сбыта и переработки рыбы, особенно в летний период, формировать государственный заказ на поставку рыбной продукции в бюджетные учреждения. Нужны также меры государственной поддержки рыбного хозяйства в сфере подготовки кадров, развития материально-технической базы, внедрения новейших технологий [8-14].

Третий важный вопрос – проведение инвентаризации существующих в регионе рыбопитомников, выделение из их числа перспективных, пригодных для интенсивного воспроизводства водных биоресурсов. В дальнейшем по каждому рыбопитомнику важно разработать план мероприятий по реконструкции и эффективному его использованию.

Также по каждому перспективному рыбопитомнику Кировской области необходимо сформировать государственный заказ на выращивание рыбопосадочного материала ценных пород рыб (для дальнейшего вселения во внутренние водные объекты) с возмещением рыбопитомникам всех затрат по выращиванию рыбопосадочного материала [16-20].

Следующий важный шаг – предоставление рыбопитомникам, получающим региональный и федеральный государственные заказы, субвенций из соответствующих бюджетов на модернизацию инкубационных цехов, выростных и зимовальных прудов, покупку производителей рыб продуктивных пород, а также на проведение профилактических мероприятий.

Следует указать, наконец, на необходимость кооперирования хозяйствующих субъектов и на обеспечение защиты законных прав населения Кировской области, занимающегося любительским и спортивным рыболовством.

Таким образом, адаптация мирового опыта к условиям региона позволит создать соответствующую инфраструктуру, научный потенциал, привлекательные для частных предпринимателей технологии. В этом случае аквакультура будет способствовать социально-экономическому развитию Кировской области, позволит повысить трудозанятость населения и доходность семей, содействует улучшению здоровья и качества жизни населения, и, как следствие, устойчивому развитию сельских территорий.

Заключение

Подводя итоги состоянию рыбоводства в Кировской области, можно отметить, что на сегодняшний день отрасль находится в кризисе, в связи с чем требуется реализация неотложных мер социально-экономического и технологического характера. При этом, принцип частной заинтересованности должен подкрепляться созданием благоприятных условий со стороны государства.

Список литературы

1. Иванов В.Б., Долгих А.Ю. Оценка экологического состояния водного объекта // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2019. Т. 11, № 3-2. С. 21-28.
2. Алиев А.Б., Шихшабекова Б.И., Гусейнов А.Д., Мусаева И.В., Алиева Е.М., Шихшабеков А.Р. Анализ современного состояния товарной аквакультуры // Проблемы развития АПК региона. 2017. Т. 31, № 3 (31). С. 102-106.
3. Богачев А.И. Значение рыбохозяйственного комплекса в обеспечении продовольственной безопасности России // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2018. Т. 4, № 1 (13). С. 47-55. <http://agro-econom.vestnik.marsu.ru/view/journal/article.html?id=1579>
4. Богачев А.И. Состояние отечественного сектора аквакультуры // Вестник сельского развития и социальной политики. 2018. № 1 (17). С. 23-25.

5. Буяров В.С., Юшкова Ю.А., Буяров А.В. Пути повышения эффективности товарного рыбоводства // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12, № 1 (60). С. 161-168. <http://vestnik.vsau.ru/wp-content/uploads/2019/04/161-168.pdf>
6. Кашаевская И.Г., Гарбар А.В. Нормативно-правовое закрепление понятия аквакультуры в законодательстве России // Актуальные проблемы права. 2019. № 6. С. 57-65.
7. Кировская область в цифрах: краткий статистический сборник Киров, 2000-2019.
8. Мисикевич В.В., Александров Д.Е. Значение аквакультуры для экономики Российской Федерации // Дельта науки. 2019. № 2. С. 131-135.
9. Моховиков О.В., Грунина А.А. Перспективы российской аквакультуры // Дельта науки. 2019. № 1. С. 10-12.
10. Никифоров А.И., Круглова Д.К., Савцова Я.С. Интегрированные системы в мировой аквакультуре // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2017. № 8 (139). С. 65-72. <https://panor.ru/articles/integririvannye-sistemy-v-mirovoy-akvakulture/42644.html>
11. Пипия Л.К., Дорогокупец В.С. Устойчивая биоэкономика: вопросы стратегии // Наука за рубежом. 2019. № 84. С. 1-44.
12. Рагозина Н.Н. Проблемы рыбохозяйственного комплекса России // Вестник Дальрыбвтуза. 2015. № 6. С. 26-29.
13. Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года. М.: Росинформагротех, 2019. С. 44. <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/10a/10a7fbc5a2677a2231278f12ef7882b.pdf> (дата обращения: 28.03.2021).
14. Хованский И.Е., Млынар Е.В. Социальные вопросы в рыбохозяйственном комплексе // Вестник Дальрыбвтуза. 2014. № 3. С. 125-126.
15. В Кировской области подведены итоги первого открытого аукциона по рыболовным участкам / Федеральное агентство по рыболовству. <https://fish.gov.ru/news/2016/12/22/v-kirovskoj-oblasti-podvedeny-itogi-pervogo-otkrytogo-auksiona-po-rybovodnym-uchastkam/> (дата обращения: 28.03.2021).
16. Avarsky N.D., Kolonchin K.V., Bogachev A.I., Seregin S.N. Insurance as a component of the marketing mechanism to develop aquaculture // Amazonia Investiga, 2020, vol. 9, no. 26, pp. 498-510. <https://doi.org/10.34069/AI/2020.26.02.57>
17. Filgueira R., Grant J., Brown M.S., Stuart R. Ecosystem modeling for ecosystem-based management of bivalve aquaculture sites in data-poor environments // Aquaculture Environment Interactions, 2013, vol. 4, no. 2, pp. 117-133. <https://doi.org/10.3354/aei00078>

18. Olsen R.L., Hasan M.R. A limited supply of fishmeal: impact on future increases in global aquaculture production // *Trends in Food Science & Technology*, 2012, vol. 27, no. 2, pp. 120-128. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.06.003>
19. Tave D., Toya L.A., Hutson A.M. Raising fish in a purpose-built conservation aquaculture facility using conservation aquaculture management // *North American Journal of Aquaculture*, 2019, vol. 81, no. 4, pp. 326-332. <http://dx.doi.org/10.1002/naaq.10097>
20. Vasilyeva L.M., Elhetawy A.I.G., Sudakova N.V., Astafyeva S.S. History, current status and prospects of sturgeon aquaculture in Russia // *Aquaculture Research*, 2019, vol. 50, no. 4, pp. 979-993. <https://doi.org/10.1111/are.13997>

References

1. Ivanov V.B., Dolgikh A.Yu. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya vodnogo obyekta [Assessment of the ecological state of a water body]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2019, vol. 11, no. 3-2, pp. 21-28.
2. Aliev A.B., Shikhshabekova B.I., Gouseinov A.D., Musaeva I.V., Alieva E.M., Shikhshabekov A.R. Analiz sovremennogo sostoyaniya tovarnoi akvakultury [Analysis of the current state of commercial aquaculture]. *Problemy razvitiya APK regiona*, 2017, vol. 31, no. 3 (31), pp. 102-106.
3. Bogachev A.I. Znacheniye rybohozyaistvennogo kompleksa v obespechenii proizvodstvennoy bezopasnosti Rossii [The importance of the fishery complex in ensuring food security in Russia]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Selskohozyaistvennie nauki. Economicheskie nauki*, 2018, vol. 4, no. 1 (13), pp. 47-55. <http://agro-econom.vestnik.marsu.ru/view/journal/article.html?id=1579>
4. Bogachev A.I. Sostoyaniye otechestvennogo sektora akvakultury [State of the domestic aquaculture sector]. *Vestnik selskogo razvitiya I sotsialnoy politiki*, 2018, no. 1 (17), pp. 23-25.
5. Buyarov V.S., Yushkova Yu.A., Buyarov A.V. Puti povisheniya effektivnosti tovarnogo rybovodstva [Ways to improve the efficiency of commercial fish farming]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2019, vol. 12, no. 1 (60), pp. 161-168. <http://vestnik.vsau.ru/wp-content/uploads/2019/04/161-168.pdf>
6. Kashaevskaya I.G., Grabar A.V. Normativno-pravovoe zakrepleniye ponyatiya akvakultury v zakonodatelstve Rossii [Regulatory and legal consolidation of the concept of aquaculture in the legislation of Russia]. *Aktualnyie problemy prava*, 2019, no. 6, pp. 57-65.
7. Kirovskaya oblast v tsifrah: kratkiy statisticheskiy sbornik [Kirov region in figures: a short statistical compilation]. Kirov, 2000-2019.

8. Misikevich V.V., Aleksandrov D.E. Znachenie akvakultury dlya ekonomiki Rossiyskoi Federatsii [The importance of aquaculture for the economy of the Russian Federation]. *Delta nauki*, 2019, no. 2, pp. 131-135.
9. Mokhovikov O.V., Grunina A.A. Perspektivy rossiyskoy akvakultury [Prospects for Russian aquaculture]. *Delta nauki*, 2019, no. 1, pp. 10-12.
10. Nikiforov A.I., Kruglova D.K., Savtsova Ya.S. Integrirovanniye sistemy v mirivoy akvakulture [Integrated systems in global aquaculture]. *Rybovodstvo i rybnoe hozyaistvo*, 2017, no. 8 (139), pp. 65-72. <https://panor.ru/articles/integrirovannyye-sistemy-v-mirovoy-akvakulture/42644.html>
11. Pipiya L.K., Dorogokupets V.S. Ustoichivaya bioekonomika: voprosy strategii [Sustainable bioeconomy: strategic issues]. *Nauka za rubezhom*, 2019, no. 84, pp. 1-44.
12. Ragozina N.N. Problemy rybohozyaistvennogo kompleksa Rossii [Problems of the fishery complex of Russia]. *Vestnik Dalrybvtuza*, 2015, no. 6, pp. 26-29.
13. *Strategiya razvitiya rybohozyaistvennogo kompleksa Rossiyskoi Federatsii na period do 2030 goda* [Development strategy of the fishery complex of the Russian Federation for the period up to 2030]. Moscow: Rosinformagrotekh, 2019, p. 44. <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/10a/10a7fbc5a2677a2231278f12ef7882b.pdf> (accessed 28.03.2021).
14. Khovansky I.E., Mlynar E.V. Sotsialniye voprosy v rybohozyaistvennom komplekse [Social Issues in the fisheries complex]. *Vestnik Dalrybvtuza*, 2014, no. 3, pp. 125-126.
15. *V Kirovskoy oblasti podvedeny itogi pervogo otkrytogo auktsiona po rybovodnym uchastkam* [The results of the first open auction for fish breeding sites have been summed up in the Kirov region] / The Federal Agency for Fisheries. <https://fish.gov.ru/news/2016/12/22/v-kirovskoj-oblasti-podvedeny-itogi-pervogo-otkrytogo-auktsiona-po-rybovodnym-uchastkam/> (accessed 28.03.2021).
16. Avarsky N.D., Kolonchin K.V., Bogachev A.I., Seregin S.N. Insurance as a component of the marketing mechanism to develop aquaculture. *Amazonia Investiga*, 2020, vol. 9, no. 26, pp. 498-510. <https://doi.org/10.34069/AI/2020.26.02.57>
17. Filgueira R., Grant J., Brown M.S., Stuart R. Ecosystem modeling for ecosystem-based management of bivalve aquaculture sites in data-poor environments. *Aquaculture Environment Interactions*, 2013, vol. 4, no. 2, pp. 117-133. <https://doi.org/10.3354/aei00078>
18. Olsen R.L., Hasan M.R. A limited supply of fishmeal: impact on future increases in global aquaculture production. *Trends in Food Science & Technology*, 2012, vol. 27, no. 2, pp. 120-128. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.06.003>
19. Tave D., Toya L.A., Hutson A.M. Raising fish in a purpose-built conservation aquaculture facility using conservation aquaculture management. *North Amer-*

- ican Journal of Aquaculture*, 2019, vol. 81, no. 4, pp. 326-332. <http://dx.doi.org/10.1002/naaq.10097>
20. Vasilyeva L.M., Elhetawy A.I.G., Sudakova N.V., Astafyeva S.S. History, current status and prospects of sturgeon aquaculture in Russia. *Aquaculture Research*, 2019, vol. 50, no. 4, pp. 979-993. <https://doi.org/10.1111/are.13997>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Дурсенев Максим Сергеевич, к.б.н., доцент, и.о. заведующего кафедрой разведения, кормления и частной зоотехнии
Вятский государственный агротехнологический университет
ул. Октябрьский проспект, 133, г. Киров, 610017, Российская Федерация
ovr_vgsha@mail.ru

Чиркин Сергей Александрович, к.и.н., доцент кафедры истории и философии
Вятский государственный агротехнологический университет
ул. Октябрьский проспект, 133, г. Киров, 610017, Российская Федерация
s_tchirkin@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Maxim S. Dursenev, Cand. of Biol. Sc., Asc. Prof., Acting Head of the Department of Breeding, Feeding and Private Zootechny
Vyatka State Agro-Technological University
133, Oktyabrskiy ave., Kirov, 610017, Russian Federation
ovr_vgsha@mail.ru
SPIN-code: 2719-9746
ORCID: 0000-0002-8205-5042
Scopus Author ID: 729011
ResearcherID: AAK-1300-2021

Sergei A. Chirkin, Cand. of Hist. Sc., Asc. Prof. of the Department of History and Philosophy
Vyatka State Agro-Technological University
133, Oktyabrskiy ave., Kirov, 610017, Russian Federation
s_tchirkin@mail.ru
SPIN-code: 3148-5595
ORCID: 0000-0001-9569-5789
ResearcherID: AAK-1402-2021

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**BIOLOGICAL SCIENCES**

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-138-161

УДК 577.11:591.821

**АДАПТИВНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧЕК
И КРОВИ РУКОКРЫЛЫХ РОДА НЕТОПЫРЬ,
ОБИТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ
БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Е.Н. Карпенко, Е.В. Зайцева, Л.Н. Анищенко,
А.Л. Харлан, Н.Н. Крикливый*

*Исследование биологических особенностей рукокрылых млекопитающих связано с их адаптивными приспособлениями к полету, выявлением их местообитания, возможностями классификации и систематизации. Важное значение рукокрылых принадлежит их экологическому значению в биосистемах и для мониторинга угроз распространения инфекционных болезней. Цель исследования – выявление закономерностей биохимических показателей почек и крови рукокрылых для оценки адаптивных признаков и возможной индикации среды на примере вида нетопырь малый (*Pipistrellus pygmaeus*) на территории Брянской области. Гематологические и биохимические исследования крови летучих мышей проводились с использованием общепринятых методик. Определялись белковые фракции в сыворотке крови турбидиметрическим методом, рассчитывалось содержание каждой фракции в абсолютных величинах, а также альбумин-глобулиновое соотношение. Проводилась оценка ферментативной активности: активность пероксидазы, сукцинатдегидрогеназы, щелочной фосфатазы, кислой фосфатазы. В исследовании определялись катионные белки, выявлялись активности энзимов. По исследуемым биохимическим показателям рассчитывались основные элементы вариационной статистики. Полученные данные по биохимическому анализу тканей почек и крови нетопыря малого (*Pipistrellus pygmaeus*) рекомендуется*

использовать в качестве «биохимических норм», характеризующих стандарт вида, диагностических критериев при оценке иммунологического статуса и состояния рукокрылых под воздействием экзогенных и эндогенных факторов.

Ключевые слова: рукокрылые млекопитающие; нетопырь малый (*Pipistrellus pygmaeus*); Брянская область; биохимические показатели; почки; кровь; ферменты

Для цитирования. Карпенко Е.Н., Зайцева Е.В., Анищенко Л.Н., Харлан А.Л., Крикливый Н.Н. Адаптивные преобразования биохимических показателей почек и крови рукокрылых рода нетопырь, обитающих на территории Брянской области // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 2. С. 138-161. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-138-161

ADAPTIVE TRANSFORMATIONS OF BIOCHEMICAL PARAMETERS OF KIDNEYS AND BLOOD OF BATS OF THE GENUS PIPISTRELLUS, LIVING IN THE TERRITORY OF THE BRYANSK REGION

*E.N. Karpenko, E.V. Zaitseva, L.N. Anishchenko,
A.L. Kharlan, N.N. Krikliiviy*

*The study of the biological characteristics of bats mammals is associated with their adaptive adjustments to flight, the identification of their habitat, the possibilities of classification and systematization. Bats are of great importance for their ecological significance in biosystems and for monitoring the spread of infectious diseases. The aim of the study was to reveal the regularities of the biochemical parameters of the kidneys and blood of bats for the assessment of adaptive traits and possible indication of the environment using the example of the common bat (*Pipistrellus pygmaeus*) species in the Bryansk region. Hematological and biochemical studies of bats were carried out using generally accepted methods. Protein fractions in blood serum were determined by the turbidimetric method, the content of each fraction was calculated in absolute values, as well as the albumin-globulin ratio. The enzymatic activity was assessed: the activity of peroxidase, succinate dehydrogenase, alkaline phosphatase, acid phosphatase. In the study, cationic proteins were determined, enzyme activities were identified. The main elements of variation statistics were calculated by the studied biochemical parameters. The obtained data on biochemical analysis of kidney tissues and blood of the pipistrellus pygmaeus are recommended to be used*

as «biochemical norms» characterizing the species standard, diagnostic criteria for assessing the immunological status and state of bats under the influence of exogenous and endogenous factors.

Keywords: bats mammals; bats (*Pipistrellus pygmaeus*); Bryansk region; biochemical parameters; kidneys; blood; enzymes

For citation. Karpenko E.N., Zaitseva E.V., Anishchenko L.N., Kharlan A.L., Krikliviy N.N. Adaptive Transformations of Biochemical Parameters of Kidneys and Blood of Bats of the Genus *Pipistrellus*, Living in the Territory of the Bryansk Region. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 138-161. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-138-161

Введение

Рукокрылые – единственный отряд плацентарных млекопитающих, способных к активному полёту, и второй по величине отряд млекопитающих, включающий 1200 видов [1, 2]. В Нечерноземье РФ, так же как и по всему миру, численность летучих мышей сокращается при влиянии антропогенных факторов: химического загрязнения, уменьшения кормовой базы [3, 4].

Брянская область обладает большим разнообразием условий обитания представителей фауны и видов антропогенной нагрузки на экосистемы. Изучение пространственного распределения видов фауны позволяет выявить местообитания редких видов животных, которые нуждаются в защите и охране [5]. Данные по природным ресурсам и окружающей среде Брянской области по видам антропогенной нагрузки на экосистемы позволяют установить факторы, оказывающие серьезное влияние на процесс расселения животных [5, 6-8].

Для человека и животных системное изучение летучих мышей играет особую роль в их жизнедеятельности. Рукокрылые поддерживают экологическое состояние биосферы, являясь энергичными истребителями насекомых. Численность популяций летучих мышей и их эко-морфологический и морфофизиологический статусы становятся чрезвычайно важными для мониторинга угроз инфекционных болезней [9], нарушения экосистем [10] и глобального изменения климата [3, 4, 8, 11].

По данным А.А. Горбачева [12], знания особенностей биологии, групповой организации и пространственного распределения рукокрылых необходимы для разработки эффективных мер по сохранению биоразнообразия.

Рукокрылые, являясь частью биоты, рассматриваются сегодня как один из важных биоиндикаторов состояния экосистем. Повсеместное распространение, обеспечение экосистемных функций и низкий уровень ре-

продуктивности делают рукокрылых чувствительными к нарушениям в экосистемах [2-4]. Пространственное распределение рукокрылых определяется сочетанием ряда экологических факторов, среди которых ведущую роль играют средняя температура самой теплой и самой холодной четвертей года, а также плотность людского населения [3, 4, 13].

Для рукокрылых Брянской области характерна определенная временная динамика: увеличение активности с мая по июль и снижение активности с июля по сентябрь [6, 12].

За последние годы интерес к изучению рукокрылых возрос и в Брянской области. Остаются пробелы в знаниях о биохимическом составе тканей и анатомо-морфологических особенностях внутренних органов рукокрылых, требующие проведения новых исследований с использованием современных методов, что актуально для определения особенностей биохимии в тканях и внутренних органах *Chiroptera* в связи с приспособлением к полёту.

Адаптивные преобразования организма и динамика биохимического и морфологического состава крови и показателей обмена веществ у летучих мышей рода нетопырь малый в постнатальном онтогенезе с учетом половой принадлежности исследована недостаточно.

Цель исследования – выявление закономерностей биохимических показателей почек и крови рукокрылых для оценки адаптивных признаков и возможной индикации среды на примере вида нетопырь малый (*Pipistrellus rugmaeus*) на территории Брянской области.

Характеристика объекта исследования

В род нетопырь – *Pipistrellus Kaup*, 1829 – входят виды летучих мышей мелких размеров (рис. 1). У летучих мышей этого вида крылья неширокие, заостренные. У основания шпоры, имеется хорошо развитая эпиблема, снабженная поперечной перегородкой. Уши относительно короткие, суженные к вершине [14, 15].

Рукокрылые, обитающие в Брянской области, принадлежат к одному подотряду рукокрылые – *Microchiroptera*, надсемейству *Vespertilionoidae*, семейству Гладконосые (*Vespertilionidae*) – обыкновенные летучие мыши или кожановые. Из 10 родов этого семейства, которые встречаются в России на территории Брянской области, были отмечены следующие: Ночницы (*Myotis*), Нетопыри (*Pipistrellus*), Вечерницы (*Nyctalus*), Кожаны (*Eptesicus*), Двухцветные кожаны (*Vespertilio*). Всего было выявлено 15 видов [12].



Рис. 1. Нетопырь малый (*Pipistrellus pygmaeus*) (Фото Карпенко Е.Н., 2019)

Материалы и методы исследования

Работа выполнялась в период с 2011 по 2020 гг., совместно с аспирантами А.А. Горбачевым, С.С. Голощаповой, В.В. Гриб в лабораториях биоиндикации и морфо-физиологии человека и животных кафедры биологии ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского».

Цитохимические и иммунологические исследования проведены на базе Ставропольского научно-исследовательского противочумного института и на кафедре общей биологии в проблемной научно-исследовательской лаборатории экспериментальной иммуноморфологии, иммунопатологии и иммунобиотехнологии Ставропольского государственного университета в период с 2016-2020 годов под руководством доктора биологических наук, профессора Андрея Николаевича Квочко.

Для отлова летучих мышей использовались паутинные сети. Размеры сетей составляли 6 на 2,4 метров, с толщиной нити – 0,08 мм и ячейками – 14 мм. Сети натягивали во время захода солнца на пути пролета Нетопыря малого. Всего было проведено 12 отловов. После отлова зверьков в течении 10-12 часов содержали при постоянной температуре +5°C для искусственного введения их в спячку.

За 2011-2020 годы были обнаружены несколько колоний: колония № 1 – на территории деревни Кукуевка Навлинского района Брянской области, в колонии насчитывалось 36 особей вида Нетопырь малый (*Pipistrellus pygmaeus*), из них: 25 женских и 11 мужских особей; колония № 2 – в городе Мглин Брянской области, в колонии насчитывалось 50 особей вида Нетопырь малый (*Pipistrellus pygmaeus*), из них: 31 женских и 19 мужских особей.

После измерений промеров колонии летучих мышей вида Нетопырь малый (*Pipistrellus pygmaeus*) для дальнейшего исследования было отобрано по принципу аналогов 10 особей: 5 самцов и 5 самок. Часть зверьков были отпущены в свою первоначальную среду обитания.

При работе с рукокрылыми полностью соблюдали Международные принципы Хельсинской декларации о гуманном отношении к животным. Все процедуры исследования летучих мышей, включая эвтаназию, проводили, соблюдая правила защиты позвоночных животных, используемых в научных целях [16, 17].

Гематологические и биохимические исследования крови летучих мышей проводились с использованием общепринятых методик [18].

С помощью биохимического фотометра Stat fax 1904+R (США) колориметрическим биуретовым методом (с использованием реагентов ПРОТЕИН-НОВО (В-8012)) определяли общий белок сыворотки крови. При помощи ФЭК-56ПМ (Россия) определяли белковые фракции в сыворотке крови турбидиметрическим методом [18]. Исследуемую сыворотку крови, полученную от летучих мышей, смешивали с рабочими фосфатными растворами заданной концентрации. Оптическую плотность данных растворов определяли при красном светофильтре в кювете с толщиной слоя 1 см, сравнивая с контролем. Зная концентрацию общего белка в сыворотке крови, рассчитывали содержание каждой фракции в абсолютных величинах.

В сыворотке крови, полученной от летучих мышей, определяли альбумин-глобулиновое соотношение (Н), как пример высокоспецифичных цитохимических методов, использующихся для интерпретации морфологических, гематологических, иммунологических данных и применяющихся в диагностических целях [19].

При цитохимических исследованиях проводилась оценка ферментативной активности нейтрофилов крови у летучих мышей. По Грехему – Кноллю в мазках крови определяли активность миелопероксидазы (МПО (К.Ф.1.11.1.7)) [20].

По наличию в клетках гранулоцитарного ряда включений в виде зелено-вато-жёлтых или коричневых гранул отмечалась активность пероксидазы. По методике Р.П. Нарциссова [21, 22] определяли сукцинатдегидрогеназу.

Активность щелочной фосфатазы (ЩФ (К.Ф.3.1.3.1)) определяли по методу азосочетания. Активность кислой фосфатазы (КФ (К.Ф.3.1.3.2)) устанавливали реакцией азосочетания с гексаметиленированным парарозанилином с использованием рекомендаций З.А. Бутенко [20].

Катионные белки в мазках крови определяли по методике В.Е. Пигаревского (1978) [20].

Цитохимические реакции оценивались по степени окраски цитоплазмы (L. Karlow (1963), с учётом рекомендаций З.А. Бутенко) [24]. Для определения активности ферментов и сопутствующих веществ использовались полуколичественные показатели [24].

По методу L. Karlow (1963) вычисляли средний цитохимический показатель (СЦП). У летучих мышей проводили оценку иммунного статуса с использованием метода непрямой иммунофлюоресценции [23]. Метод основан на специфичности иммунологической реакции антиген-антитело и чувствительности флуоресцентной микроскопии.

Суспензию живых клеток обрабатывали антителами, специфическими к выявленному антигену, а затем антителами, соединёнными с флюорохромом и направленными против специфических антител. Оценка результатов проводилась по специфическому свечению.

Все гистометрические измерения производили с помощью измерительного циркуля, транспортира, медицинского микровизора проходящего света μ Vizo-103XT0068 с разрешением 1024x768, при объективе 5 \times /0,10; 20 \times /0,45 и 40 \times /0,45.

При проведении гистологических исследований учитывались «...возможности объективных и субъективных артефактов ...» [24].

Рассчитывались основные элементы вариационной статистики – средняя арифметическая (M) и ошибка средней арифметической ($\pm m$).

Статистическая обработка цифрового материала была выполнена на персональном компьютере с помощью программы Microsoft Excel.

Результаты исследования

У особей обоего пола нетопыря малого (*Pipistrellus pygmaeus*), обитающих в сельской местности в первой колонии (деревня Кукуевка Навлинского района Брянской области) и в городе во второй колонии (г. Мглин Брянской области), выявлены индивидуальные особенности соматометри-

ческих, макрометрических и микрометрических показателей почек, биохимических показателей ткани почек и крови – ткани внутренней среды организма.

Биохимические показатели ткани почек у нетопыря малого

Для глубокого понимания метаболических процессов, происходящих в ткани почек у летучих мышей в постнатальном онтогенезе, было изучено содержание мочевины, мочевой кислоты и глюкозы. Выполненные исследования позволили выявить общие и частные закономерности у самцов и самок летучих мышей вида нетопырь малый, обитающих на территории Брянской области.

Анализ биохимических показателей тканей почек у нетопыря малого показал различия в содержании мочевины в грамме ткани, между самками и самцами в первой колонии, по левым почкам составили 13,60%, а по правым почкам – 9,34%, во второй колонии по левым почкам составили 7,27%, а по правым почкам – 9,19%; мочевой кислоты в грамме ткани, между самками и самцами в первой колонии зверьков, по левым почкам составили 9,89%, а по правым почкам – 9,94%; во второй колонии по левым почкам составили 9,75%, а по правым почкам – 9,71%; глюкозы в грамме ткани, между самками и самцами в первой колонии зверьков, по левым почкам составили 9,64%, а по правым почкам – 9,39%; во второй колонии по левым почкам составили 9,79%, а по правым почкам – 9,52%.

Изучение содержания мочевой кислоты в ткани почек самцов и самок рукокрылых в постнатальном онтогенезе показало, что самые низкие её значения регистрируются в правой почке у самцов, обитающих в городской среде, а наиболее высокие значения – в левой почке самок второй колонии.

Динамика изменения средних значений мочевой кислоты в ткани почек у летучих мышей, носила волнообразный характер, прослеживалась левосторонняя тенденция повышения показателя. Также для особей нетопыря малого в Брянской области выявлено, что динамика содержания мочевины, мочевой кислоты в грамме ткани почек меняется волнообразно с различной периодичностью и зависит от половой принадлежности, топографии органа и среды обитания.

Как известно из литературы, почки мгновенно реагируют на недостаток кислорода. Почки, а именно почечная ткань, при недостатке провоцируют выработку эритропоэтина, регулирующего эритропоэз, что приводит к интенсивному образованию эритроцитов [25]. Изучение содержания эри-

троцитов в крови у самцов и самок летучих мышей в постнатальном онтогенезе выявило, что их количество в крови зависит от пола и возраста.

Данные, полученные при гематологическом и биохимическом исследовании, показали, что более высокие значения по количеству эритроцитов в крови самок летучих мышей связаны со значительной потребностью активно летающего, растущего организма зверька в питательных веществах. Это может быть обусловлено гипоксией в тканях почек и соединительной ткани летучих мышей, обитающих в городе Мглин Брянской области, развившейся в период спячки.

Иммунологические и цитохимические показатели системы крови нетопыря малого на основе сравнительной оценки ферментативной активности нейтрофилов крови у летучих мышей отражены на рисунке 2. При оценке ферментативной активности нейтрофилов крови у летучих мышей проводили сравнения цитохимических показателей и определили: различие содержания щелочной фосфатазы (ЩФ) для самок и самцов в первой колонии зверьков составляет 10,51 у.е., во второй колонии – 10,50 у.е. Установлено, что щелочная фосфатаза нейтрофилов в крови у самок вида нетопырь малый в первой и второй колониях ниже, чем у самцов в 0,09 раза в первой и во второй колониях.

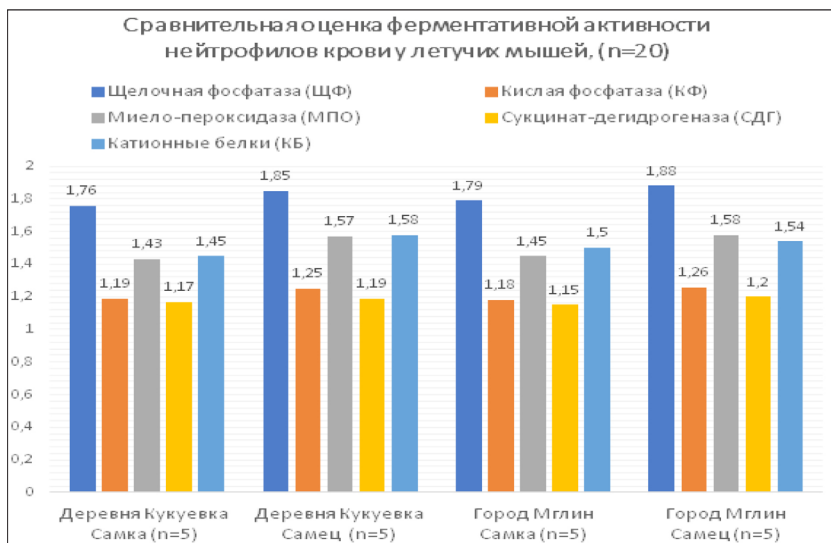


Рис. 2. Сравнительная оценка ферментативной активности нейтрофилов крови у летучих мышей

Разница в содержании кислой фосфатазы (КФ) между самками и самцами в первой колонии составила 9,52 у.е., во второй колонии – 9,36 у.е. Содержание кислой фосфатазы нейтрофилов в крови у самок вида нетопырь малый в первой и второй колониях ниже, чем у самцов в 0,06 раза в первой и в 0,08 раза во второй колониях.

Содержание миелопероксидазы (МПО) различается у самцов и самок в первой колонии на 9,10 у.е., во второй колонии – на 9,17 у.е. Миелопероксидаза нейтрофилов в крови у самок вида нетопырь малый в первой и второй колониях ниже, чем у самцов в 0,14 раза в первой и в 0,13 раза во второй колониях.

Концентрация сукцинатдегидрогеназы (СДГ) различается для самок и самцов в первой колонии зверьков на 9,83 у.е., во второй колонии – на 9,58 у.е. Сукцинатдегидрогеназа нейтрофилов в крови у самок вида нетопырь малый в первой и второй колониях ниже, чем у самцов в 0,02 раза в первой и в 0,05 раза во второй колониях.

Различия в содержании катионных белков (КБ) между самками и самцами в первой колонии зверьков составляют 9,17 у.е., во второй колонии – 9,74 у.е. Катионные белки нейтрофилов в крови у самок вида нетопырь малый в первой и второй колониях ниже, чем у самцов в 0,13 раза в первой и в 0,04 раза во второй колониях.

Увеличение средних цитохимических показателей нейтрофилов в крови у самцов в обеих колониях летучих мышей может быть связано с их физиологической половой активностью. У особей мужского пола второй колонии с численностью 50 зверьков все цитохимические показатели были выше, что связано с количеством особей в колонии и со средой обитания.

Динамика популяций и субпопуляций лимфоцитов крови у летучих мышей представлена на рисунке 3.

При исследовании популяций лимфоцитов в субпопуляции Т-лимфоцитов в крови у летучих мышей выявили: экспрессирующие маркеры Т-хелперы CD3 (%) различаются у самок и самцов в первой колонии зверьков на 10,57%, во второй колонии – на 10,56%. Экспрессирующие маркеры Т-хелперы CD3 лимфоцитов в крови у самок вида нетопырь малый в первой и второй колониях ниже, чем у самцов в 2,89 раза в первой и во второй колониях. Экспрессирующие маркеры Т-хелперы CD4 (%) различаются между самками и самцами в первой колонии зверьков на 9,39%, во второй колонии – на 9,50%. Экспрессирующие маркеры Т-хелперы CD4 лимфоцитов в крови у самок вида нетопырь малый в первой и второй колониях ниже, чем у самцов в 1,62 раза в первой и в 1,64 раза во второй колониях. Т-ци-

тотоксические маркеры CD8a (%) различаются между самками и самцами в первой колонии зверьков на 10,25%, во второй колонии – на 9,68%. Т-цитотоксические маркеры CD8a лимфоцитов в крови у самок вида нетопырь малый в первой и второй колониях ниже, чем у самцов в 0,54 раза в первой и в 0,68 раза во второй колониях.

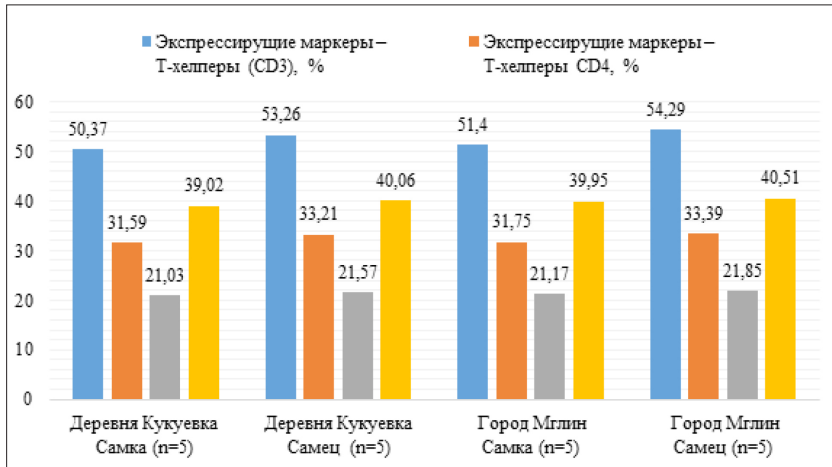


Рис. 3. Динамика популяций и субпопуляций лимфоцитов крови у летучих мышей, (n=20)

При исследовании популяций лимфоцитов в субпопуляции В-лимфоцитов в крови у летучих мышей выявили: различия в поверхностном маркере CD19 (%) для самцов и самок в первой колонии составляют 9,74%, во второй колонии – 9,86%. Натуральные киллеры CD19 лимфоцитов в крови у самок вида нетопырь малый в первой и второй колониях ниже, чем у самцов в 1,04 раза в первой и в 0,56 раза – во второй колониях.

При исследовании популяций лимфоцитов в субпопуляции Т- лимфоцитов и В-лимфоцитов в крови у самцов летучих мышей обеих колоний показатели были немного выше, чем у самок. В колонии летучих мышей с численностью 50 особей, обитающих в городской среде, все показатели популяций лимфоцитов в субпопуляции Т-лимфоцитов и В-лимфоцитов в крови были выше. Данный факт может говорить о незначительных нарушениях клеточного иммунитета и иммунной системы самцов, связанных с физиологическими особенностями особей мужского пола и их половой активностью в это время года.

В исследовании для анализа изменений показателей белкового обмена в организме мы исследовали соединительную ткань внутренней среды организма – кровь и сыворотку крови у летучих мышей. Показатели белкового обмена у летучих мышей представлены на рисунке 4. Установлено, что содержание общего белка (г/л) у самок по сравнению с самцами в первой колонии была больше на 7,12%, во второй колонии – на 4,76%. Количество общего белка в сыворотке крови у самок вида нетопырь малый в первой и второй колониях выше, чем у самцов в 1,07 раза в первой и в 1,05 раза во второй колониях.

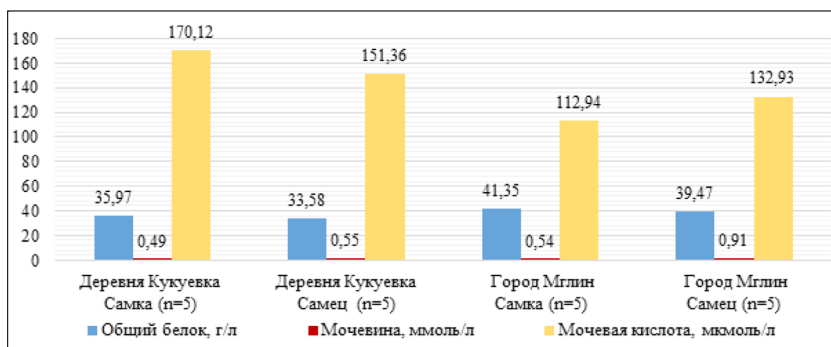


Рис. 4. Показатели белкового обмена у особей вида Нетопырь малый (*Pipistrellus pygmaeus*), (n=20)

Показатели содержания мочевины (ммоль/л) различаются для самцов и самок: в первой колонии различия составляют 8,90%, во второй колонии – 1,68%. Содержание мочевины в первой колонии у самок по сравнению с самцами меньше на 10,91% (или в 1,12 раза), во второй колонии – на 40,66% (или в 1,69 раза).

Снижение концентрации мочевины в сыворотке крови отмечено у самок летучих мышей в первой колонии зверьков, обитающих в сельской местности, общей численностью 36 особей, из которых 25 самок и 11 самцов, и составила 0,49 ммоль/л. Высокие значения мочевины в сыворотке крови у летучих мышей вида нетопырь малый, по нашему мнению, обусловлены накоплением этого метаболита в период спячки и наступлением сдвигов в процессах ассимиляции и диссимиляции. Снижение уровня мочевины в сыворотке крови в последующем, по нашему мнению, связано с интенсивным набором массы, ростом, движением зверьков, их половым и физиологическим созреванием.

Увеличение количества мочевины у самцов, обитающих в городской среде в период после спячки, можно объяснить активным ростом животного, половым созреванием и, как следствие, интенсификацией обмена пуриновых оснований, что подтверждено и другими исследователями [13, 26, 27].

Основным и конечным продуктом азотистого обмена веществ в организме животного является мочевина, содержащаяся в крови. От функционального состояния почек, от количества потребляемого белка и скорости его расщепления в организме зависит содержание в крови мочевины [28, 29]. Установлено, что различия в содержании мочевой кислоты между самками и самцами в первой колонии зверьков составляют 11,23%, во второй колонии – 13,01%. Выявлено, что мочевая кислота в сыворотке крови у самок вида *Nettionia microps* малый в первой и второй колониях выше, чем у самцов в 18,89 раза в первой и в 40,01 раза во второй колониях.

По мнению А.Н. Квочко [30, 31], мочевая кислота – это конечный продукт обмена пуриновых оснований, входящих в состав нуклеопротеидов, она также является компонентом остаточного азота. Установлено, что в крови у летучих мышей количество мочевой кислоты меняется волнообразно. Максимальные значения мочевой кислоты в сыворотке крови определены у особей женского пола 172,94 (мкмоль), обитающих в городской среде, с численностью колонии зверьков 50, из которых 19 самок и 31 самец.

Таким образом, исследования по изучению общего белка и его метаболитов позволяют сделать заключение о том, что в постнатальном онтогенезе (после спячки) у летучих мышей вида *Nettionia microps* мочевина и мочевая кислота изменяются волнообразно. Метаболиты общего белка имеет свою амплитуду и период колебаний, зависят от половой принадлежности и возраста особей.

Установлено, что динамика изменения уровня общего белка носит волновой характер. Такая динамика этого показателя в сыворотке крови обусловлена адаптацией летучих мышей к условиям внешней среды после длительной спячки, интенсивным половым и физиологическим созреванием, спариванием особей и достижением взрослого состояния.

Результаты проведенных исследований показали, что у летучих мышей имеют место половые отличия в уровне мочевины в сыворотке крови.

Оценка уровня активности ферментов может свидетельствовать как о выраженности адаптации, так и патологическом процессе в организме [25-27, 29]. В результате исследований изучена активность в сыворотке крови у летучих мышей ферментов – аланинаминотрансферазы (АлАТ), аспар-

татамино-трансферазы (АсАТ), гамма-глутамилтранспептидазы (ГГТ), играющих центральную роль в обмене белков, и щелочной фосфатазы (ЩФ), осуществляющей процессы фосфорилирования и трансмембранного переноса.

Динамика показателей активности ферментов в сыворотке крови у летучих мышей разнообразна (рисунок 5). Концентрация аланинаминотрансферазы (АлАТ) (Ед/л) различается между самками и самцами в первой колонии зверьков на 8,94%, во второй колонии – на 8,13%. Аланинаминотрансфераза (АлАТ) в сыворотке крови у самок вида нетопырь малый в первой и второй колониях ниже, чем у самцов в 2,13 раза в первой и в 3,96 раза во второй колониях.

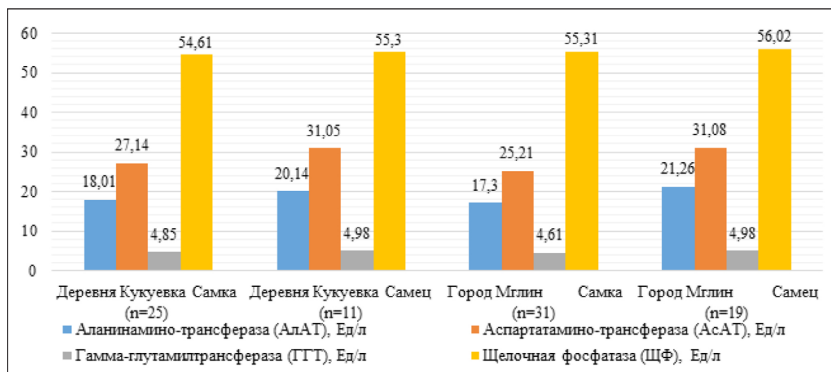


Рис. 5. Активность ферментов сыворотки крови у особей вида Нетопырь малый (*Pipistrellus pygmaeus*) в постнатальном онтогенезе (n=20)

Показатели концентрации аспартатамино-трансферазы (АсАТ) (Ед/л) – между самками и самцами в первой колонии зверьков различаются на 8,73%, во второй колонии – на 8,11%. Аспартатамино-трансфераза (АсАТ) в сыворотке крови у самок вида нетопырь малый в первой и второй колониях ниже, чем у самцов в 3,91 раза в первой и в 5,87 раза во второй колониях. Установлено, что различия в концентрации гамма-глутамилтранспептидазы (ГГТ) (Ед/л) между самками и самцами в первой колонии зверьков составляют 9,73%, во второй колонии – 9,25%. Гамма-глутамилтранспептидаза (ГГТ) в сыворотке крови у самок вида нетопырь малый в первой и второй колониях ниже, чем у самцов в 0,13 раза в первой и в 0,37 раза во второй колониях. Концентрация щелочной фосфатазы (ЩФ) (Ед/л) различна для самок и самцов; в первой колонии разница между

ними составила 10,12%, во второй колонии – на 9,87%. Щелочная фосфатаза (ЩФ) в сыворотке крови у самок вида нетопырь малый в первой и второй колониях ниже, чем у самцов в 0,69 раза в первой и в 0,71 раза во второй колониях.

Изучение параметров активности щелочной фосфатазы (ЩФ) в сыворотке крови у летучих мышей показало, что её активность у самцов, обитающих в городской среде, выше, чем у самок. Значительное снижение активности щелочной фосфатазы у самок, обитающих в сельской местности, связано с интенсивным ростом мышечной массы и костной ткани. Как фермент щелочная фосфатаза активна в тканях костей, обеспечивает в тканях процессы трансмембранного фосфорилирования, что не противоречит общим биохимическим закономерностям млекопитающих.

Выводы

1. Биохимическим методом установлены закономерности в метаболической активности тканей почек у летучих мышей, обитающих на территории Брянской области (в городской и сельской местности). Показано, что динамика содержания мочевины, мочевой кислоты и глюкозы в ткани почек меняется с различной периодичностью и амплитудой колебания, определяется возрастом и не зависит от топографии органа и половой принадлежности.

2. При гематологическом и биохимическом исследовании крови и клеток крови у нетопыря малого определены высокие значения мочевины в сыворотке крови у самцов летучих мышей вида нетопырь малый, что, вероятно, обусловлено накоплением этого метаболита в период спячки и наступлением сдвигов в процессах ассимиляции и диссимиляции.

3. Цитохимическим методом установлена ферментная активность нейтрофилов крови у самцов летучих мышей, обитающих в городе Мглин Брянской области, увеличение уровня щелочной фосфатазы до 1,88 у.е., кислой фосфатазы до 1,26 у.е., миелопероксидазы до 1,58 у.е., сукцинатдегидрогеназы до 1,20 у.е. и катионных белков до 1,58 у.е., что вероятно, может быть связано с ослаблением иммунной системы вследствие загрязнения среды обитания.

4. Для выявления выраженных нарушений клеточного иммунитета и иммунной системы методом иммунофлюоресценции у летучих мышей проведено в динамике типирование популяций и субпопуляций лимфоцитов периферической крови CD3, CD4, CD8a, CD19, по определению относительного и абсолютного количества основных популяций лимфоцитов Т-клетки – CD3. Отмечено, что повышенное количество в популяции

T-лимфоцитов субпопуляции экспрессирующих маркеров – T – хелперов – CD3 в периферической крови до 54,29%, у самцов летучих мышей, обитающих в городской среде, с большой численностью в колонии, свидетельствует о гиперактивности иммунитета, что может быть связано с вирусными или бактериальными заболеваниями.

Выявлено снижение в популяции В-лимфоцитов субпопуляции поверхностных маркеров – CD19 в периферической крови до 39,95%, у самок летучих мышей, обитающих в городской среде, с большой численностью в колонии, может быть связано с физиологическими или врожденными гипогамма-глобулинемиями или новообразованиями.

5. Биохимическим методом установлена высокая активность аланинаминотрансферазы (АлАТ), аспартатамино-трансферазы (АсАТ), в сыворотке крови самцов у нетопыря малого в первые месяцы активного полета, что связано с адаптацией зверьков к новым условиям обитания после длительной спячки и, последующим интенсивным ростом, половым созреванием.

6. У летучих мышей после спячки (у самцов и самок) в сыворотке крови регистрируется увеличение активности гамма-глутамилтранспептидазы (ГГТ), обусловленные интенсивным набором массы и интенсивным ростом, гормональной перестройкой организма, с наступлением половой зрелости и периодом спаривания.

7. В сыворотке крови у самцов летучих мышей, обитающих в городской среде, активность щелочной фосфатазы (ЩФ) выше, чем у самок. Значительное снижение активности щелочной фосфатазы у самок, обитающих в сельской местности, связано с интенсивным ростом мышечной массы и костной ткани. Как фермент щелочная фосфатаза активна в тканях костей, обеспечивает в тканях процессы трансмембранного фосфорилирования, что не противоречит общим биохимическим закономерностям млекопитающих.

Список литературы

1. Стрелков Я.Я. Летучие мыши (Microchiroptera). БСЭ: 2-е изд. 1973. Т. 14. С. 378.
2. Hutson A.M., Mickleburgh S.P., Racey P.A. Microchiropteran Bats – global status survey and conservation action plan. Oxford: Information Press, 2001, 272 p.
3. Williams-Guillén K., Olimpi E., Maas B., Taylor P.J., Arlettaz R. Bats in the anthropogenic matrix: challenges and opportunities for the conservation of Chiroptera and their ecosystem services in agricultural landscapes / Voigt CC,

- Kingston T (eds.) // *Bats in the Anthropocene: conservation of bats in a changing world*. Springer International AG, Cham, 2016, pp. 151–178.
4. Jung K., Threlfall C.G. Urbanisation and its effects on bats – a global meta-analysis / Voigt CC, Kingston T (eds.) // *Bats in the Anthropocene: conservation of bats in a changing world*. Springer International AG, Cham, 2016, pp. 13–28.
 5. Ситникова Е.Ф., Крускоп С.В., Мишта А.В. Материалы к фауне рукокрылых Брянской области // *Plecotus et al.* 2009. №11-12. С. 32-49. https://zmmu.msu.ru/bats/biblio/sitn_10.pdf
 6. Изучение и охрана биологического разнообразия Брянской области. Материалы по ведению Красной книги Брянской области / Прокофьев И.Л., Горбачев А.А., Гриб В.В., Зайцева Е.Н., Подвойский В.С. // *Результаты изучения фауны рукокрылых (Chiroptera) памятника природы «Роща Соловьи» города Брянска*. Брянск, 2012. С. 178-180.
 7. Природные ресурсы и окружающая среда Брянской области: Годовой доклад о состоянии окружающей среды в Брянской области в 2016 г. Брянск: Департамент природных ресурсов и экологии Брянской области, 2017. 242 с.
 8. Korine C., Adams R., Russo D., Fisher-Phelps M., Jacobs D. Bats and water: anthropogenic alterations threaten global bat populations / Voigt CC, Kingston T (eds.) // *Bats in the Anthropocene: conservation of bats in a changing world*. Springer International AG, Cham, 2016, pp. 215–233.
 9. Banerjee A., Baker M.L., Kulcsar K., Misra V., Plowright R. and Mossman K. Novel Insights Into Immune Systems of Bats // *Front. Immunol.*, 2020, vol. 11. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.00026>
 10. Kuenzi A.J., Morrison M.L. Detection of bats my mistnets and ultrasonic sensors // *Wildlife Society Bulletin*, 1998, vol. 26, pp. 307-311.
 11. Rebelo H., Tarroso P., Jones G. Predicted impact of climate change on European bats in relation to their biogeographic patterns // *Global Change Biology*, 2010, vol. 16, no. 2, pp. 561-576. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02021.x>
 12. Горбачев А.А. Пространственно-временная структура фауны рукокрылых (Mammalia, Chiroptera) Брянской области: Дис. ... канд. биол. наук. Брянск, 2013. 126 с.
 13. McGuire L. P., Fenton M.B., Guglielmo Ch.G. Phenotypic flexibility in migrating bats: seasonal variation in body composition, organ sizes and fatty acid profiles // *Journal of Experimental Biology*, 2013, vol. 216, no. 5, pp. 800-808. <https://doi.org/10.1242/jeb.072868>
 14. Богданов О.П. Фауна Узбекской ССР. Рукокрылые: В 3 т. [Под ред. Т.З. Захидова]. Ташкент: Издательство Академии Наук УзССР, 1953. Т. 3, Вып. 2. Млекопитающие. 160 с.

15. Гвоздев Е.В. Млекопитающие Казахстана: В 4 т / под ред. Е.В. Гвоздева, Е. И. Страутмана. Алма-Ата: Наука, 1985. Т. 4. 280 с.
16. Operational Guidelines for Ethics Committees That Review Biomedical Research. Geneva: World Health Organization, 2000. 32 p.
17. Guidelines and Recommendations for European Independent Ethics Committees // European Forum for Good Clinical Practice. Brussels, 1995, 1997, pp. 1-48.
18. Методы ветеринарной и клинической диагностики. Под ред. И.П. Кондрахина. М.: КолосС, 2004. 520 с.
19. Нагоев Б.С. Пособие по клинической цитохимии нейтрофильных лейкоцитов. Нальчик, 1979. 215 с.
20. Бутенко З.А. Глузман Д.Ф., Зак К.П. Цитохимия и электронная микроскопия клеток крови и кроветворных органов. Киев, 1974. 562 с.
21. Нарциссов Р.П. Применение п-нитротетразолия фиолетового для количественной цитохимии дегидрогеназ лимфоцитов человека // Архив анатомии, гистологии и эмбриологии. 1969. № 5. С. 85-91.
22. Нарциссов Р.П., Комиссарова И.А. Цитохимическое изучение гидролитических и окислительно-восстановительных ферментов лимфоцитов периферической крови // Лабораторное дело. 1980. № 7. С. 390-394.
23. Методы непрямой иммунофлуоресценции // Медицинская иммунология. 1999. Т. 1, №5. С. 24-28.
24. Родина Е.Е. Возрастные особенности желудка кур кросса Хайсекс Браун: Дис. ... к-та вет. наук. Брянск, 2006. 24 с.
25. Kuzel M. A. A., Tavares J. A., Fernandes P. do A., Alves B., Costa Neto S. F. de, Lacorte C., Borges M. de S., Bonna, I. C. F., Andreazzi C. S. de, & Moratelli, R. Hematological values for free-living great fruit-eating bats, *Artibeus lituratus* (Chiroptera: Phyllostomidae) // Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science, 2020, vol. 57, no. 3, e168582. <https://doi.org/10.11606/issn.1678-4456.bjvras.2020.168582>
26. Jani A. et al. Kidney proteome changes provide evidence for a dynamic metabolism and regional redistribution of plasma proteins during torpor-arousal cycles of hibernation // *Physiol. Genomics*, 2012, vol. 44, no. 14, pp. 717–727. <https://doi.org/10.1152/physiolgenomics.00010.2012>
27. Hecht A. M., Braun B.C., Krause E., Voigt Ch.C., Greenwood A.D. & al. Plasma proteomic analysis of active and torpid greater mouse-eared bats (*Myotis myotis*) // *Sci Rep.*, 2015, vol. 5, article number: 16604. <https://doi.org/10.1038/srep16604>
28. Реутова Е.А. Стацевич Л.Н. Изменения биохимических и морфологических показателей крови у животных. Новосибирск, 2005. 131 с.

29. Mukhamediarova Z.P., Mizhevnikina A.S., Lykasova I. A. Changes in Morphological and Biochemical Parameters of Blood of Broiler Chickens Caused by Use of Feed Additives // International scientific and practical conference «AgroSMART - Smart solutions for agriculture» (AgroSMART 2018), pp. 865-869. <https://doi.org/10.2991/agrosmart-18.2018.162>
30. Квочко А.Н. Динамика морфофункциональных показателей мочевыделительной системы и паренхиматозных органов мериносовых овец в норме и при уролитиазе: Дисс...д-ра биол. наук. Ставрополь, 2002. 380 с.
31. Квочко А.Н. Оценка белково-синтетической функции в почках мериносовых овец в постнатальном онтогенезе // Цитология. 2001. Т.43, №12. С. 1174-1178.

References

1. Strelkov Ya.Ya. *Letuchie myshi (Microchiroptera)* [Bats (Microchiroptera)]. BSE, 1973, vol. 14, pp. 378.
2. Hutson A.M., Mickleburgh S.P., Racey P.A. *Microchiropteran Bats – global status survey and conservation action plan*. Oxford: Information Press, 2001, 272 p.
3. Williams-Guillén K., Olimpi E., Maas B., Taylor P.J., Arlettaz R. Bats in the anthropogenic matrix: challenges and opportunities for the conservation of Chiroptera and their ecosystem services in agricultural landscapes. In: Voigt CC, Kingston T (eds.) *Bats in the Anthropocene: conservation of bats in a changing world*. Springer International AG, Cham, 2016, pp. 151–178.
4. Jung K., Threlfall C.G. Urbanisation and its effects on bats – a global meta-analysis. In: Voigt CC, Kingston T (eds.) *Bats in the Anthropocene: conservation of bats in a changing world*. Springer International AG, Cham, 2016, pp. 13–28.
5. Sitnikova E.F., Kruskop S.V., Mishta A.V. Materialy k faune rukokrylykh Bryanskoy oblasti [Materials for the bat fauna of the Bryansk region]. *Plecotus et al.*, 2009, no. 11-12, pp. 32-49. https://zmmu.msu.ru/bats/biblio/sitn_10.pdf
6. Prokof'ev I.L., Gorbachev A.A., Grib V.V., Zaytseva E.N., Podvoyskiy V.S. Izuchenie i okhrana biologicheskogo raznoobraziya Bryanskoy oblasti. Materialy po vedeniyu Krasnoy knigi Bryanskoy oblasti [Study and protection of the biological diversity of the Bryansk region. Materials on the management of the Red Book of the Bryansk region]. *Rezulyaty izucheniya fauny rukokrylykh (Chiroptera) pamyatnika prirody «Roshcha Solov'iy» goroda Bryanska* [Results of the study of the bat fauna (Chiroptera) of the natural monument “Grove of Nightingales” of the city of Bryansk]. Bryansk, 2012, pp. 178-180.
7. *Prirodnye resursy i okruzhayushchaya sreda Bryanskoy oblasti: Godovoy doklad o sostoyanii okruzhayushchey sredy v Bryanskoy oblasti v 2016 g* [Natural resources and environment of the Bryansk region: Annual report on the

- state of the environment in the Bryansk region in 2016]. Bryansk: Department of Natural Resources and Ecology of the Bryansk Region, 2017, 242 p.
8. Korine C., Adams R., Russo D., Fisher-Phelps M., Jacobs D. Bats and water: anthropogenic alterations threaten global bat populations. In: Voigt CC, Kingston T (eds). *Bats in the Anthropocene: conservation of bats in a changing world*. Springer International AG, Cham, 2016, pp. 215–233.
 9. Banerjee A., Baker M.L., Kulcsar K., Misra V., Plowright R. and Mossman K. Novel Insights Into Immune Systems of Bats. *Front. Immunol.*, 2020, vol. 11. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.00026>
 10. Kuenzi A.J., Morrison M.L. Detection of bats my mistnets and ultrasonic sensors. *Wildlife Society Bulletin*, 1998, vol. 26, pp. 307-311.
 11. Rebelo H., Tarroso P., Jones G. Predicted impact of climate change on European bats in relation to their biogeographic patterns. *Global Change Biology*, 2010, vol. 16, no. 2, pp. 561-576. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02021.x>
 12. Горбачев А.А. Пространственно-временная структура фауны рукокрылых (Mammalia, Chiroptera) Брянской области: Дис. ... канд. биол. наук. Брянск, 2013. 126 с.
 13. McGuire L. P., Fenton M.B., Guglielmo Ch.G. Phenotypic flexibility in migrating bats: seasonal variation in body composition, organ sizes and fatty acid profiles. *Journal of Experimental Biology*, 2013, vol. 216, no. 5, pp. 800-808. <https://doi.org/10.1242/jeb.072868>
 14. Bogdanov O.P. *Fauna Uzbekskoy SSR. Rukokrylye* [Fauna of the Uzbek SSR. Bats]: V 3 t. [Pod red. T.Z. Zakhidova]. Tashkent, 1953, vol. 3, issue 2, 160 p.
 15. Gvozdev E.V. *Mlekopitayushchie Kazakhstana* [Mammals of Kazakhstan]: V 4 t [Pod red. E.V. Gvozdeva, E. I. Strautmana]. Alma-Ata: Nauka, 1985, vol. 4, 280 p.
 16. Operational Guidelines for Ethics Committees That Review Biomedical Research. Geneva: World Health Organization, 2000. 32 p.
 17. Guidelines and Recommendations for European Independent Ethics Committees. *European Forum for Good Clinical Practice*. Brussels, 1995, 1997, pp. 1-48.
 18. *Metody veterinarnoy i klinicheskoy diagnostiki* [Methods of veterinary and clinical diagnostics] / ed. I.P. Kondrakhin. Moscow: KolosS, 2004, 520 p
 19. Nagev B.S. *Posobie po klinicheskoy tsitokhimii neytrofil'nykh leykotsitov* [Handbook of clinical cytochemistry of neutrophilic leukocytes]. Nal'chik, 1979, 215 p.
 20. Butenko Z.A. Gluzman D.F., Zak K.P. *Tsitokhimiya i elektronnyaya mikroskopiya kletok krovi i krovotvornykh organov* [Cytochemistry and electron microscopy of blood cells and hematopoietic organs]. Kiev, 1974, 562 p.

21. Nartsissov R.P. Primenenie n-nitrotetrazoliya fioletoovogo dlya kolichestvennoy tsitokhimii degidrogenaz limfotsitov cheloveka [The use of violet n-nitrotetrazolium for quantitative cytochemistry of human lymphocyte dehydrogenases]. *Arkhiv anatomii, gistologii i embriologii* [Archive of Anatomy, histology and embryology], 1969, no. 5, pp. 85-91.
22. Nartsissov R.P., Komissarova I.A. Tsitokhimicheskoe izuchenie gidroliticheskikh i okislitel'no-vosstanovitel'nykh fermentov limfotsitov perifericheskoy krovi [Cytochemical study of hydrolytic and redox enzymes of peripheral blood lymphocytes]. *Laboratornoe delo* [Laboratory work], 1980, no. 7, pp. 390-394.
23. Metody nepryamoy immunoflyuorestsentsii [Methods of indirect immunofluorescence]. *Meditinskaya immunologiya* [Medical immunology], 1999, vol. 1, no. 5, pp. 24-28.
24. Rodina E.E. *Vozrastnye osobennosti zheludka kur krossa Khayseks Braun* [Age-related features of the stomach chickens cross Hajseks brown]. Bryansk, 2006, 24 p.
25. Kuzel M. A. A., Tavares J. A., Fernandes P. do A., Alves B., Costa Neto S. F. de, Lacorte C., Borges M. de S., Bonna, I. C. F., Andreazzi C. S. de, & Moratelli, R. Hematological values for free-living great fruit-eating bats, *Artibeus lituratus* (Chiroptera: Phyllostomidae). *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 2020, vol. 57, no. 3, e168582. <https://doi.org/10.11606/issn.1678-4456.bjvras.2020.168582>
26. Jani A. et al. Kidney proteome changes provide evidence for a dynamic metabolism and regional redistribution of plasma proteins during torpor-arousal cycles of hibernation. *Physiol. Genomics*, 2012, vol. 44, no. 14, pp. 717–727. <https://doi.org/10.1152/physiolgenomics.00010.2012>
27. Hecht A. M., Braun B.C., Krause E., Voigt Ch.C., Greenwood A.D. & al. Plasma proteomic analysis of active and torpid greater mouseeared bats (*Myotis myotis*). *Sci Rep.*, 2015, vol. 5, article number: 16604. <https://doi.org/10.1038/srep16604>
28. Reutova E.A. Statsevich L.N. *Izmeneniya biokhimicheskikh i morfologicheskikh pokazateley krovi u zhivotnykh* [Changes in biochemical and morphological parameters of blood in animals]. Novosibirsk, 2005, 131 p.
29. Mukhamediarova Z.P., Mizhevnikina A.S., Lykasova I. A. Changes in Morphological and Biochemical Parameters of Blood of Broiler Chickens Caused by Use of Feed Additives. *International scientific and practical conference «AgroSMART - Smart solutions for agriculture» (AgroSMART 2018)*, pp. 865-869. <https://doi.org/10.2991/agrosmart-18.2018.162>
30. Kvochko A.N. *Dinamika morfofunktsional'nykh pokazateley mochevydelitel'noy sistemy i parenkhimatoznykh organov merinosovykh ovets v norme i pri urolitiazе* [Dynamics of morphofunctional indicators of the urinary system

and parenchymal organs of merino sheep in normal and urolithiasis]. Stavropol, 2002, 380 p.

31. Kvochko A.N. Otsenka belkovo-sinteticheskoy funktsii v pochках merinosovykh ovets v postnatal'nom ontogeneze [Evaluation of protein-synthetic function in the kidneys of merino sheep in postnatal ontogenesis]. *Tsitologiya* [Cytology], 2001, vol. 43, no. 12, pp. 1174-1178.

ВКЛАД АВТОРОВ

Карпенко Е.Н.: лабораторные исследования, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

Зайцева Е.В.: общее руководство направлением исследования, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

Анищенко Л.Н.: общее руководство направлением исследования, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

Харлан А.Л.: лабораторные исследования, морфометрические измерения, подготовка текста статьи.

Крикливый Н.Н.: лабораторные исследования, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Elizaveta N. Karpenko: laboratory research, interpretation of results, preparation of the text of the article.

Elena V. Zaitseva: general direction of the research direction, interpretation of results, preparation of the text of the article.

Lidiya N. Anishchenko: general direction of the research direction, interpretation of the results, preparation of the text of the article.

Alexey L. Kharlan: laboratory research, morphometric measurements, preparation of the text of the article.

Nikolai N. Krikliviy: laboratory research, interpretation of results, preparation of the text of the article.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Карпенко Елизавета Николаевна, ассистент кафедры химии

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»

ул. Бежицкая, 14, г. Брянск, 241036, Российская Федерация

liza_zayceva22@mail.ru

Зайцева Елена Владимировна, доктор биологических наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»
ул. Бежицкая, 14, г. Брянск, 241036, Российская Федерация

Анищенко Лидия Николаевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»
ул. Бежицкая, 14, г. Брянск, 241036, Российская Федерация

Харлан Алексей Леонидович, кандидат биологических наук
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»
ул. Бежицкая, 14, г. Брянск, 241036, Российская Федерация

Крикливый Николай Николаевич, кандидат биологических наук
Управление Россельхознадзора по Брянской, Смоленской и Калужской областям
ул. Рославльская, 3, п. Путёвка, Брянский район, Брянская область, 241519, Российская Федерация

DATA ABOUT THE AUTHORS

Elizaveta N. Karpenko, Assistant of the Department of Chemistry
Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky
14, Bezhickaya Str., Bryarsk, 241036, Russian Federation
liza_zayceva22@mail.ru
SPIN-code: 6657-3300

Elena V. Zaitseva, PhD (Biology), Dr. Habil, Professor
Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky
14, Bezhickaya Str., Bryarsk, 241036, Russian Federation
SPIN-code: 5232-3910

Lidiya N. Anishchenko, PhD (Agricultural), Dr. Habil, professor
Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky

14, Bezhickaya Str., Bryarsk, 241036, Russian Federation

SPIN-code: 6600-6010

ORCID: 0000-0003-4842-5174

Alexey L. Kharlan, PhD (Biology)

Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky

14, Bezhickaya Str., Bryarsk, 241036, Russian Federation

SPIN-code: 7930-9088

Nikolai N. Krikliviy, PhD (Biology)

Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Surveillance, Department for the Bryansk, Smolensk and Kaluga regions

3, Roslavlskaya Str., Putevka, Bryansky District, Bryansk Region, 241519, Russian Federation

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-162-184

УДК 581.5:633. 358:577.13

**ВЛИЯНИЕ ИНОКУЛЯЦИИ
RHIZOBIUM LEGUMINOSARUM И *AZOTOBACTER
CHROOCCUS* НА СОДЕРЖАНИЕ НЕГАТИВНЫХ
АЛЛЕЛОПАТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ
В КОРНЕВЫХ ЭКССУДАТАХ ПРОРОСТКОВ
ГОРОХА (*PISUM SATIVUM L.*)**

Л.Е. Макарова, И.С. Капустина, А.С. Мориц, С.С. Макаров

Механизмы взаимодействия бобовых культур с азотфиксирующими бактериями разных типов взаимоотношения с ними (эндо- и эктосимбионты) не изучены, однако исследования их актуальны. Данные литературы удостоверяют о проявлениях защитных реакций на начальных этапах взаимодействия бобового растения с бактериями в клетках самого растения и в его ризосфере. На уровне ризосферы показателями этих реакций могут быть изменения содержания в корневых экссудатах компонентов антимикробного действия.

Цель работы – изучение защитной (антимикробной) реакции проростков гороха (*Pisum sativum L.*) сорта Торсдаг на инокуляцию бактериями *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* (эндосимбионт) и *Azotobacter chroococcum* (эктосимбионт), вносимых в водную среду роста корней. О реакции судили по изменениям содержания в корневых экссудатах негативных аллелопатических соединений: пизатина, *N*-фенил-2-нафтиламина (*N*-ФНА), фталатов. После инокуляции проростки росли в условиях гидрокультуры 1 сут в камере “BINDER KBW-240” при 21°C, освещении 81 $\mu\text{M}\cdot\text{м}^2\cdot\text{сек}^{-1}$ и фотопериоде 16/8 ч (день/ночь). В этилацетатных экстрактах из среды роста корней методом ВЭЖХ определяли содержание перечисленных соединений, а методом ГХ-МС – состав и соотношение фталатов. Обнаружены различия по влиянию ризобий и азотобактера на содержание этих соединений и на соотношения видов фталатов, неодинаковая активность штаммов бактерий в деградировании *N*-ФНА до фталатов от его концентрации в среде, разное влияние *N*-ФНА на жизнеспособность использованных в экспериментах бактерий.

Заключение. Изменения в составе исследуемых соединений в среде роста корней у проростков гороха указывают на снижение защитной (антимикроб-

ной) реакции в их ризосфере при инокуляции бактериями *A. chroococcum*, а при инокуляции бактериями *R. leguminosarum* – на ее усиление.

Ключевые слова: *Pisum sativum* L.; *Rhizobium*; *Azotobacter*; корневые экссудаты; пизатин; *N*-фенил-2-нафтиламин (*N*-ФНА); фталаты

Для цитирования. Макарова Л.Е., Капустина И.С., Мориц А.С., Макаров С.С. Влияние инокуляции *Rhizobium leguminosarum* и *Azotobacter chroococcum* на содержание негативных аллелопатических соединений в корневых экссудатах проростков гороха (*Pisum sativum* L.) // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 2. С. 162-184. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-162-184

EFFECT OF *RHIZOBIUM LEGUMINOSARUM* AND *AZOTOBACTER CHROOCOCCUM* INOCULATION ON THE CONTENT OF NEGATIVE ALLELOPATHIC COMPOUNDS IN ROOT EXUDATES OF PEA SEEDLINGS (*PISUM SATIVUM* L.)

L.E. Makarova, I.S. Kapustina, A.S. Morits, S.S. Makarov

Research on the mechanisms of plant-microbial interactions is currently relevant. Many researchers have shown that when a legume plant starts to interact with bacteria, protective reactions develop in the cells of the plant and in its rhizosphere. Changes in the content of the antimicrobial reaction components of root exudates can be the protective reaction indicators at the rhizosphere level.

*The aim of this research was to study the protective (antimicrobial) reaction of pea (*Pisum sativum* L.) seedlings of the Torsdag variety to the inoculation with *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* (endosymbiont) and *Azotobacter chroococcum* (ectosymbiont) introduced into the aqueous medium of the root growth. The reaction indicators were changes in the content of negative allelopathic compounds in root exudates: pisatin, *N*-phenyl-2-naphthylamine (*N*-PNA), and phthalates. After the inoculation, the seedlings grew for 24 h in the BINDER KBW-240 chamber at 21°C, with lighting of 81 $\mu\text{M}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$ and a 16/8 h day/night photoperiod. In ethyl acetate extracts from the aqueous medium where the seedling roots were immersed, the content of the compounds was determined by HPLC, while changes in the composition and ratio of phthalates were determined by GC-MS. The different effects of rhizobia and azotobacter on the content of the above compounds and on the ratio of phthalate types in root exudates were established. Data indicating the different ability of both bacterial*

species to degrade N-PNA to phthalates and the dependence of this process activity in the bacteria studied on its concentration in the medium were presented. N-PNA differently but negatively affected the viability of the bacteria used in the experiments.

Conclusion. *The changes in the content of the studied compounds in the root growth medium allow us that there was a decrease in the antimicrobial reaction in pea seedling rhizosfera when inoculated with *A. chroococcum*. However, this reaction intensified when inoculated with bacteria of the genus *Rhizobium*.*

Keywords: *Pisum sativum L.; Rhizobium; Azotobacter; root exudates; pisatin; N-phenyl-2-naphthylamine; phthalates*

For citation. *Makarova L.E., Kapustina I.S., Morits A.S., Makarov S.S. Effect of Rhizobium Leguminosarum and Azotobacter Chroococcum Inoculation on the Content of Negative Allelopathic Compounds in Root Exudates of Pea Seedlings (Pisum Sativum L.). Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 162-184. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-162-184*

Известно, что в обеспечении растений азотом особая роль принадлежит почвенным микроорганизмам, среди которых внутриклеточные, эндофитные и эпифитные азотфиксаторы [9]. Более высокой эффективностью азотфиксации характеризуются бактерии, поселяющиеся в корневых и стеблевых клубеньках, формирующихся у растений. Полагают, что в качестве возможных поставщиков доступных для бобового растения азотных соединений, необходимых на первых этапах формирования клубеньковых азотфиксирующих структур, служат ризосферные свободноживущие азотфиксирующие бактерии из родов *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus* [7].

Из результатов работ [1, 2] следовало, что совместное действие на бобовое растение бактерий из родов *Rhizobium* и *Azotobacter*, оказывается полезным для его роста. При этом показано, что ассоциативные бактерии *Azotobacter chroococcum*, как и ризобии, в начальные периоды после инокуляции могут вызывать защитные реакции в клетках их корней, даже более заметные, чем клубеньковые бактерии.

Защитные реакции растений в ответ на инфицирование проявляются не только на уровне клеток их органов, но и на уровне их ризосферы. В прикорневой зоне протекторную функцию принимают на себя экскретуемые корневыми клетками во внешнюю среду компоненты, обладающие антимикробным действием. В числе веществ такого рода действия различные по структуре соединения. В первую очередь – фитоалексины, которые отличаются по химической структуре не только у разных родов растений, но и у видов одного рода [23]. Фитоалексины усиленно синте-

зируются растениями не только при действии на них фитопатогенов, но и бактерий, вступающих с растением в мутуалистические взаимоотношения, и при биотических стрессах [26, 29]. При высоких концентрациях антимикробным действием могут обладать ряд синтезируемых растениями низкомолекулярных соединений, названных “фитоантисипинами” (phytoanticipins) [30]. К фитоантисипинам отнесены присутствующие в клетках растений в нормальных для них условиях существования ароматические соединения. Они повышено накапливаются в тканях растения в условиях стрессов и секретируются растением в экссудаты. У растений гороха к таковым можно отнести циннамилфенолы, 2'-метоксисалкон и изофлавоноиды, которые обнаружили в их тканях в условиях стресса [12]. Вместе с тем, в клетках гороха и других видов бобовых растений, наряду с фитоалексином пизатином у бобовых культур в корнях и в корневых экссудатах в весьма заметных количествах обнаружены алкалоид необычной структуры – N-фенил-2-нафтиламин (N-ФНА) и фталаты [22]. Данные соединения вполне могут принимать участие в негативном контроле роста бактерий, вступающих в эндосимбиоз с бобовыми культурами, а также роста других почвенных бактерий [21, 22]. В настоящее время N-ФНА и фталаты отнесены к опасным для живых организмов веществам [11, 16, 24], а негативная роль пизатина показана также и в отношении некоторых видов растений [17].

В результате проведенной нами серии экспериментов [5, 19, 20, 22] в корневых экссудатах проростков гороха прослежена зависимость содержания пизатина, N-ФНА и дибутилфталата от размера корня и от вида воздействующих на корни бактерий. Показано влияние условий освещения и температуры на количество N-ФНА и фталатов, а также условий температуры на состав фталатов. При этом мы стремимся выяснить роль этих соединений во взаимодействии бобовых культур с различными почвенными микроорганизмами. Наиболее вероятная роль N-ФНА и фталатов в качестве негативных регуляторов роста бактерий нами показана в основном на примере бактерий, вступающих в симбиотические отношения с растениями гороха [21, 22]. Во взаимоотношениях бобового растения со свободно живущими азотфиксирующими бактериями, не проникающими в его ткани, участие данных соединений не было изучено. Мы полагаем, что N-ФНА и фталаты совместно с пизатином являются потенциальными кандидатами и для контроля роста ассоциативных бактерий, которые могут накапливаться в естественных условиях в прикорневой зоне растения гороха.

Ризосферные бактерии способны подвергать катаболизму многие ароматические соединения. Поэтому наряду с секретируемыми растением во внешнюю среду ароматическими соединениями в их ризосфере вполне могут оказаться продукты их биodeградации при участии присутствующих здесь же бактерий. Некоторые из образовавшихся продуктов деградации могут оказаться факторами модуляции метаболических процессов в клетках бактерий. Нами установлено, что некоторые виды почвенных бактерий способны деградировать N-ФНА до фталатов [21]. Это дало основание полагать, что таким образом бактерии могут способствовать изменениям в прикорневой зоне растения концентрации N-ФНА и количественного соотношения в составе фталатов.

Цель настоящей работы – сравнение защитной (антимикробной) реакции проростков гороха, проявляющейся на уровне ризосферы в начальные периоды инфицирования их корней бактериями *R. leguminosarum* bv. *viceae* и *A. chroococcum*, различных по специфике отношений с растениями гороха (эндосимбионт и эктосимбионт). Для этого через 1 сут после инокуляции бактериями в корневых экссудатах проростков гороха сравнивали изменения содержания пизатина, N-ФНА и фталатов, влияние N-ФНА на жизнеспособность обоих штаммов бактерий и деградирующие способности этих бактерий в отношении N-ФНА.

Материалы и методы

Объектами исследований служили проростки гороха (*Pisum sativum* L.) сорта Торсдаг и бактерии *R. leguminosarum* bv. *viceae* (штамм RCAM1022, получен из Всероссийского научно-исследовательского института сельскохозяйственной микробиологии, г. Пушкин) и *A. chroococcum* (штамм Az d10 ВКМ В-2272 Д), из коллекции Центра коллективного пользования (ЦКП) “Биоресурсный центр” Сибирского института физиологии и биохимии растений (СИФИБР) СО РАН, г. Иркутск).

Семена гороха, используемые для получения проростков, обеззараживали путем промывания водой с мылом и с последующей обработкой 3%-ным раствором перекиси водорода. Эксперименты с проростками проводили по схеме, описанной нами ранее [5]. Согласно схеме прорастание семян и рост проростков, служивших исходным материалом в работе, проводили на влажной фильтровальной бумаге, в термостате без освещения при температуре 21°C в течение 48 ч. Далее проростки инкубировали в условиях гидрокультуры в камере BINDER KBW-240 (“Binder”, Германия) при 21°C, освещении 81 $\mu\text{M}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{сек}^{-1}$ и фотопериоде 16/8 ч (день/ночь) в те-

чение 24 ч. Объем раствора в сосудах составлял 250 мл, число проростков, приходившихся на 1 сосуд – 36. Размеры корней исходных проростков составляли в длину 35 – 38 мм, по окончании эксперимента – 45 – 50 мм. В водную среду для проростков вносили необходимые для их роста микроэлементы из расчета 1 мл/л воды каждого раствора солей: $ZnSO_4$ (0.05 г/л), $NaMoO_4$ (1.76 г/л), $CuSO_4$ (0.05 г/л), $MnCl_2$ (0.35 г/л), H_3BO_3 (0.5 г/л). Одновременно с помещением корней проростков в водную среду в нее вносили бактерии (*R. leguminosarum* bv. *viceae*, *A. chroococcum*), но не вносили их в среду с растениями контроля. Инокуляцию осуществляли в период помещения корней проростков в водную среду. Инокулят бактерий вносили в сосуды в виде водного смыва с твердой агаризованной среды до концентрации 4.0×10^5 кл./мл.

Культуры бактерий. Твердые агаризованные среды для клубеньковых бактерий готовили на гороховом отваре согласно прописи из работы [3], для азотобактера применяли среду Эшби. Для получения показателей жизнеспособности бактерий и для исследований продуктов деградации N-ФНА использовали планктонные культуры бактерий. Их выращивали в жидкой минимальной среде, приготовленной, как описано в работе [15], но с использованием 0.1% глюкозы в качестве углеводного источника питания для бактерий. После предварительной 1-сут адаптации в указанной среде бактерии переносили в такую же среду с N-ФНА (“Sigma”, США) для инкубации течение 1-2 сут в колбах на роторной качалке, без освещения и при температуре 20-22°C.

Титр бактерий в смывах с твердых сред, вносимых в колбы и в сосуды с корнями проростков, а также в жидких культуральных средах с бактериями, измеряли на планшетном спектрофотометре “Immunochem-2100” при 675 нм (“High Technology Inc.”, США).

Изучение деградации N-ФНА бактериями и его влияния на жизнеспособность бактерий. В конические стеклянные колбы объемом 0,5 л вносили жидкую минимальную среду, N-ФНА (до концентрации 10 или 100 мкМ), и небольшой объем суспензии из колбы с адаптированными бактериями. Общий объем жидкости в колбах составлял 0.25 л. Колбы с бактериями помещали на роторную качалку (60 об./мин) и инкубировали 1 или 2 сут при температуре 20 – 22°C.

При изучении деградации N-ФНА в колбы вносили бактериальные суспензии до достижения в инкубационной среде концентрации бактерий 1.5×10^3 кл./мл. Выросшую культуру центрифугировали при 8000 g в течение 20 мин при 4°C, используя центрифугу модели “Avanti J-26 XP JLA”

(“Beckman Coulter”, США). Из супернатанта, после подкисления 2 н HCl до pH 3.0–4.0, этилацетатом экстрагировали ароматические соединения. Полученные экстракты упаривали досуха в вакууме в темноте, сухой остаток растворяли в небольших объемах очищенного от перекисей этилацетата и помещали в стеклянные бутылочки для газово - хромато-масс-спектрометрического (ГХ-МС) анализа.

При изучении влияния N-ФНА на жизнеспособность бактерий их титр в начале экспозиции составлял 4.5×10^3 кл./мл. Процент жизнеспособных клеток в составе аутоагрегатов бактерий, присутствовавших в культуральных средах, определяли по флуоресценции после обработки последовательно, 0.5%-ным пропидий йодидом (маркер для мертвых клеток), затем 50 мМ флуоресцеин диацетатом (маркер для живых клеток). Для просмотра бактерий-содержащих суспензий использовали инвертированный микроскоп “Axio Observer” (“Carl Zeiss Microscopy”, Германия). Определяли процент живых клеток от общего количества клеток в составе плавающих в культуральной жидкости аутоагрегатов (скопление бактерий, погруженных в слизистую матрицу) на 10-ти случайно взятых полях.

Получение экстрактов аллелопатических веществ, входящих в состав корневых экссудатов. Фенольные соединения корневых экссудатов извлекали из водной среды для роста корней после подкисления раствором 2 н. HCl до pH 3.0. Трехкратную экстракцию осуществляли при помощи этилацетата (соотношение 1:1, v/v), который затем упаривали в токе холодного воздуха в условиях затемнения. Сухой остаток растворяли 1.0 мл метанола и содержащиеся в нем соединения исследовали методом ВЭЖХ. Затем из экстракта в вакууме удаляли метанол. Остаток перерастворяли в этилацетат, производили силилирование соединений экстракта (БСА + ГМДС) и исследовали их состав методом ГХ-МС-анализа. Экстракты в обоих растворителях помещали в стеклянные вials.

Определение содержания аллелопатических соединений методом ВЭЖХ. Определение содержания пизатина, N-ФНА и дибутилфталата осуществляли методом ВЭЖХ на хроматографе “Shimadzu LC-10ATvp” с УФ-детектором (“Shimadzu”, Япония). Схема разделения, способы идентификации соединений подробно описаны в работе [21]. Для идентификации и получения калибровочных графиков использовали аутентичные образцы N-ФНА (“Sigma”, США), дибутилфталата (“Реахим”, Россия) и пизатина, который был ранее любезно предоставлен профессором Х.Д.

Ван-Эттенем (Отдел науки о растениях университета Аризоны, США). Детектирование соединений проводили при 280 нм. Количественные расчеты производились по адсорбционным профилям по высоте пиков, с использованием калибровочных графиков, построенных для разных концентраций исследуемых соединений. Величины достоверности аппроксимации (R^2) составляли 0.96 – для N-ФНА, 0.98 – для дибутилфталата, 0.99 – для пизатина.

Исследование состава фталатов в корневых экссудатах и в культуральных средах методом ГХ-МС-анализа. Анализ состава фталатов в экстрактах проводили с использованием хромато-масс-спектрометра “7000QQTripleQuad/7890A MSD/DS” (“Agilent Technology”, США). Схема проведения ГХ-МС-анализа подробно изложена в работе [11]. Анализ проводили в режиме регистрации полного ионного тока (SCAN). Для идентификации анализируемых соединений использовали библиотеки масс-спектров NIST08 и WILEY7, а также проводили сравнение с аутентичными образцами N-ФНА (“Sigma”, США), дибутилфталата (“Реахим”, Россия), бис(2-этилгексил)фталата (синоним – диоктилфталат) и диэтилфталата (“Sigma –Aldrich”, Германия). Бутил-тетрадецил фталат идентифицирован по данным библиотеки масс-спектров NIST08.

Статистическая обработка результатов

Для статистической обработки полученных результатов использовали Microsoft Excell. На рисунках и в таблицах приведены средние значения и стандартные отклонения для них, которые получены из трех независимых экспериментов.

Результаты и их обсуждение

При сравнении данных, полученных методом ВЭЖХ для растений контрольного варианта и инокулированных *R. leguminosarum* bv. *viceae* и *A. chroococcum*, видится различный характер влияния двух видов бактерий на содержание в среде роста корней пизатина, N-ФНА и дибутилфталата (рис. 1). Инокуляция ризобиями приводила к увеличению общего содержания перечисленных соединений, в основном за счет пизатина, а при инокуляции азотобактерами – к уменьшению. При этом содержание N-ФНА падало более, чем в 10 раз, пизатина и дибутилфталата – в 1,2 и 1,4 раза, соответственно. В итоге, в расчете на 1 проросток общее количество названных соединений в водной среде роста корней в присутствии ризобий оказалось выше в 2,3 раза, чем в присутствии азотобактера.

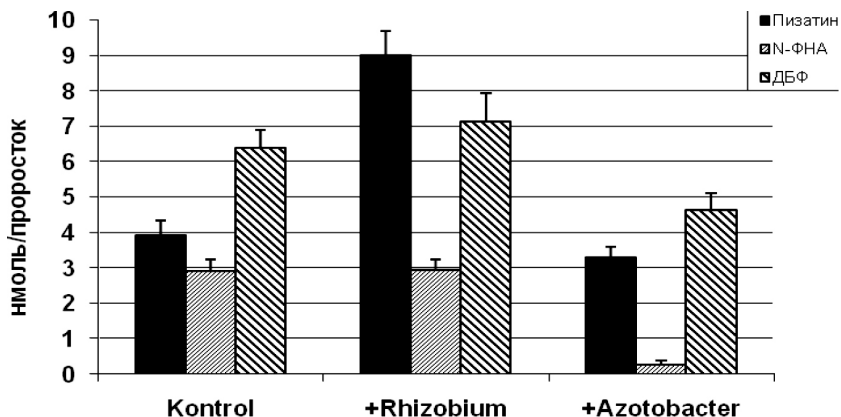


Рис. 1. Водная среда для корней

Методами ГХ-МС-анализа в среде роста корней проростков гороха идентифицировали фталаты четырех видов: дибутил-, диоктилфталат, диэтилфталат и бутил-тетрадецилфталат (рис. 2). Среди них по процентному отношению площадей пиков у растений контроля и инокулированных ризобиями практически в равной мере доминировали дибутил фталат и диоктил фталат. В среде с азотобактером среди фталатов преобладал диоктилфталат. Площадь пика для него почти в 2 раза превышала таковые для дибутил фталата и диэтилфталата. У растений всех вариантов выращивания среди фталатов 3-6% составлял бутил-тетрадецил фталат, промежуточное соединение при образовании дифталатов с одинаковыми углеводородными цепочками.

Выше отмечено, что инокуляция ризобиями способствовала увеличению в среде роста корней общего содержания изучаемых соединений, в основном за счет пизатина. Синтез данного фитоалексина свойственен растениям гороха. Среди исследуемых нами соединений пизатин в наибольшей степени изучен по его антигрибным и антибактериальным свойствам, которые имеют значение в межорганизменных взаимоотношениях. У растений гороха усиление аккумуляции пизатина наблюдали под влиянием грибных и бактериальных инфекций, в условиях абиотических стрессов [29, 30]. Пизатин может подавлять бактерии из рода *Rhizobium*, нодулирующие корни бобовых культур [13, 26]. При этом у разных штаммов *R. leguminosarum* замечена неодинаковая чувствительность к пизатину. У некоторых представителей грибных патогенов бобовых культур

из рода *Fusarium* снижение чувствительности к пизатину объясняли обнаруженной у них способностью деградировать данное соединение [30]. Подобные явления деградации пизатина не зафиксировали в научной литературе у бактерий, тем не менее, у этих микроорганизмов они вполне допускаются [13]. В наших исследованиях на деградацию пизатина бактериями *A. chroococcum* косвенно показывает понижение его уровня в среде роста корней проростков гороха, по сравнению с растениями контроля (рис. 1).

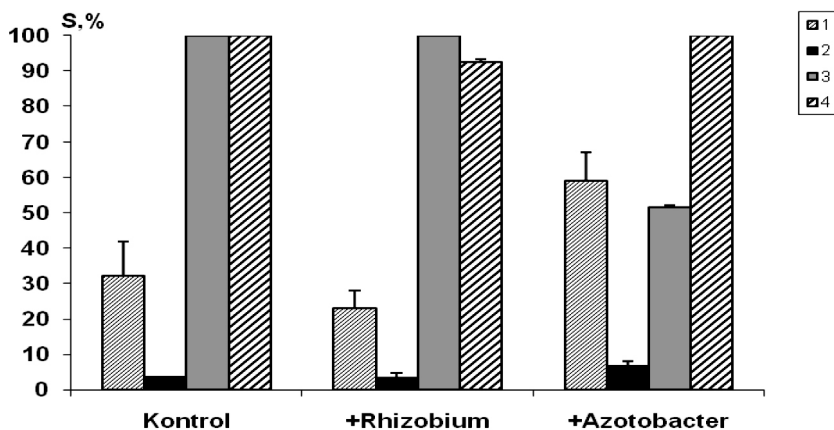


Рис. 2. Влияние бактерий *R. leguminosarum* *bv. viceae* и *A. chroococcum* на соотношение фталатов в среде роста корней проростков гороха через 1 сут экспозиции.

1 – диэтилфталат; 2 – бутил-тетрадецил фталат; 3 – дибутилфталат; 4 – диоктилфталат. По оси абсцисс: вариант водной среды для роста корней; по оси ординат: S, % – относительный показатель площади для пиков на хроматограмме (ГХ-МС) для фталатов, в %

Обнаруженную в среде роста корней проростков разницу по содержанию N-ФНА при инокуляции ризобиями и азотобактерами мы объясняем неодинаковой активностью деградации данного соединения этими видами бактерий. Мы полагаем, что уменьшение содержания N-ФНА в среде роста корней проростков при инокуляции бактериями *Azotobacter* произошло вследствие его активной деструкции в клетках данного вида бактерий. Данная способность катаболизировать N-ФНА с образованием фталатов нами показана у *R. leguminosarum* *bv. viceae*, *Pseudomonas syringae* *pv. pisi*, *Clavibacter michiganensis* *sps. sepedonicus* [21]. У *A. chroococcum* на способность осуществлять те же процессы показывает появление фталатов в культуральных средах с N-ФНА (табл. 1).

Активность деградации N-ФНА азотобактером и ризобиями можно оценить по соотношениям площадей пиков для данного субстрата и для продуктов, образовывавшихся при его деградации – фталатов (табл. 1). Сравнение площадей пиков показывает, что за 1 сут экспозиции бактериями *Azotobacter* 10 мкМ N-ФНА в культуральных средах деградировано полностью, а ризобиями – лишь частично. Такая разница по деградирующей способности в отношении N-ФНА у азотобактеров и ризобий может быть объяснением возникшей под их влиянием разницы по содержанию его в средах роста корней (рис. 1).

Таблица 1.

Состав соединений в этилацетатных экстрактах из ростовых сред бактерий, росших 1-сут с 10 мкМ или 2-сут с 100 мкМ N-ФНА

Соединение	t _{уд.} , мин	Ver., %	S, %			
			10 мкМ		100 мкМ	
			<i>R. leguminosarum</i> bv. <i>viciae</i>	<i>A. chroococcum</i>	<i>R. leguminosarum</i> bv. <i>viciae</i>	<i>A. chroococcum</i>
Фталевый ангидрид	8,0	50,5	0,3±0,1	-	0,4±0,1	-
о-Фталевая кислота			-	-		
Диэтилфталат	14,1	35,0	-	8,42±0,55	1,3±0,3	2,6±0,2
Бутил-октил фталат	19,9	11,8	-	3,25±0,13		
Дибутилфталат	21,6	29,3	3,21±0,26	100	4,3±0,6	0,7±0,1
N-ФНА	26,6	47,5	30,23±1,62	0	100	100
Диоктилфталат	31,7	71,5	100	57,7±3,7	0,6±0,1	-
(бис-7-метил-октил) фталат	34,9	65,9	1,16±0,20	-	-	-

Примечание к таблице 1. Обозначения: t_{уд.} – время удерживания, Ver, % – вероятность, S, % – относительная площадь пика. В таблице приведены средние показатели для относительной площади пика (S, %) и стандартные отклонения для них.

Снижение активности деградации N-ФНА у исследуемых бактерий происходило при его концентрации в среде 100 мкМ (табл. 1). Его можно заметить при сопоставлении соотношений пиков для фталатов и N-ФНА в культуральных средах с 10 и 100 мкМ N-ФНА, учитывая при этом длительность культивирования.

Различия по активности катаболизма ароматических соединений у сравниваемых видов бактерий, скорее всего, предопределены на генетическом уровне. Для бактерий рода *Rhizobium* индуцибельный синтез ферментов, участвующих в катаболизме ароматических соединений, является

характерной особенностью [27]. Более высокая, чем у ризобий, активность при деградации N-ФНА (10 мкМ) у используемого в наших экспериментах штамма бактерий *A. chroococcum*, позволяет полагать, что синтез ферментов, необходимых для биodeградации названного соединения, у этих бактерий экспрессируется конститутивно. Протокатехоат оксигеназа, которая может участвовать при деградации полициклических ароматических соединений по фталатному пути до образования кислот цикла Кребса [18], была очищена из *A. vinelandii*, другого представителя рода *Azotobacter*, и изучена после выращивания этих бактерий на среде с п-гидроксibenзоатом [14]. Возможно, именно стабильное присутствие данного фермента в клетках штамма *A. chroococcum* позволяет объяснить его устойчивость к дельтометрину, одному из свойств, которое было в числе определяющих при его селектировании [4]. Косвенным подтверждением тому, что фталатный путь при деградации N-ФНА азотобактерами завершается расщеплением протокатеховой кислоты до β -карбоксии-цис-цис-муконаата при участии фермента протокатехоат оксигеназы (EC 1.13.11.3) [18] могут быть данные на рисунке 1 и в таблице 1. Это наиболее низкий показатель содержания N-ФНА и фталатов (рис. 1) в среде роста корней с азотобактером и высокая катаболическая активность этих бактерий в отношении 10 мкМ N-ФНА (табл. 1), о которых уже было сказано выше.

Представленные в таблице 2 данные, характеризуют изменения жизнеспособности бактерий *R. leguminosarum* bv. *viciae* и *A. chroococcum* и являются свидетельством негативного влияния N-ФНА на эти виды бактерий.

Таблица 2.

Процент жизнеспособных клеток в составе аутоагрегатов бактерий, росших в планктонных культурах без внесения (контроль) и с внесением в среду 10 и 100 мкМ N-ФНА

Вариант	Длительность экспозиции, сут	Вид бактерий	
		<i>R. leguminosarum</i> bv. <i>viciae</i>	<i>A. chroococcum</i>
Контроль	0 (адаптация)	16,2±5,28	24,3±6,9
	1	8,2 ± 1,7	18,8±6,3
	2	4,0±1,6	4,0±1,9
10 мкМ N-ФНА	1	3,2 ± 1,2	1,1±0,5
	2	1,0 ± 0,0	1,0±0,4
100 мкМ N-ФНА	1	3,0 ± 0,7	0,8±0,3
	2	0,5 ± 0,0	0,6±0,2

Приступая к анализу данных таблицы 2, следует учесть, что в среде роста бактерий в наших экспериментах было низкое содержание углеводного источника питания (0.1%, см. Методику). Эти условия олиготрофного питания на 2-е сут экспозиции приводили к снижению жизнеспособности бактерий уже в клетках их контроля. Внесение в культуральную среду N-ФНА усилило снижение показателей жизнеспособности. Данные в таблице 2 указывают на разный характер и степень влияния N-ФНА на жизнеспособность этих штаммов бактерий. Степень снижения жизнеспособности возрастала с повышением концентрации N-ФНА. Характер реакции на N-ФНА и на повышение его концентрации в ростовых средах у сравниваемых бактерий существенно отличался. Менее всего чувствительными к изменению концентрации от 10 до 100 мкМ N-ФНА оказались ризобии. У азотобактера в контроле наблюдался больший, по сравнению с ризобиями, показатель жизнеспособности. Под влиянием N-ФНА у азотобактера он оказался почти в 3 раза ниже, чем у ризобий уже при его концентрации 10 мкМ, и еще немного снизился при концентрации 100 мкМ.

Представленные результаты позволяют связать усиление снижения жизнеспособности бактерий при концентрации N-ФНА 100 мкМ (табл. 2) с ингибированием процесса его катаболизма при той же его концентрации в бактериальных клетках (табл. 1). Вероятно, при высокой концентрации N-ФНА повышенная аккумуляция его в бактериальных клетках ведет к торможению у них катаболических процессов, ведущих к образованию фталатов. Этому могут способствовать физико-химические свойства соединения, такие как высокая липофильность, благоприятствующая проникновению его через клеточные мембраны, и высокая антиоксидантная активность, которая может быть помехой окислительным процессам при деградации фталатов [11, 25].

Третья группа веществ, которая была в поле зрения наших исследований – фталаты. На роль ростовых регуляторов в микробиоме ризосферы растений для фталатов показывают результаты работ, раскрывших особенности их действия в качестве ингибиторов роста бактерий [10, 22, 28]. Обнаружено, что степень негативного эффекта фталатов определяется не только концентрацией их в среде, но и видом алкильных группировок в их молекулах, присоединенных эфирной связью к *o*-фталевой кислоте, а также зависит от вида бактерий, испытывающих их действие [16]. В работе [28] отмечено неоднозначное действие представителей фталатов на рост бактерий в планктонной культуре и в биопленках. Вместе с тем, многие свободноживущие микроорганизмы способны использовать эфиры *o*-ф-

талевой кислоты в качестве источника углерода и энергии, что дает им определенные селективные преимущества [8].

Данные на рисунках 1 и 2 показали на изменения относительно контроля в составе фталатов, которые возникли под влиянием *Rhizobium* и *Azotobacter* в среде роста корней проростков гороха. При инокуляции ризобиями произошло незначительное увеличение количества дибutilфталата и небольшое снижение процентного отношения диоктил- и диэтилфталатов. Под влиянием азотобактера вместе с уменьшением количества дибutilфталата существенно возросло процентное отношение к нему для трех других видов фталатов. При этом диоктилфталат оказался доминирующим среди представителей обсуждаемой группы веществ. Если принять во внимание данные работ [10, 28], указывавших на антибактериальные свойства диоктил- и диэтилфталатов, можно предположить, что при возникших изменениях в составе фталатов у бактерий *Azotobacter* возник потенциал для повышения их конкурентоспособности.

Изменения соотношений фталатов в среде роста корней проростков гороха под влиянием изучаемых видов бактерий могут происходить вследствие существования у них возможностей для деградирования N-ФНА до образования фталатов и для преобразовывания одних видов фталатов в другие, путем изменения у них длины алкильных цепей, эфирно связанных с *o*-фталевой кислотой. Второе из свойств замечено у некоторых представителей почвенных бактерий авторами работы [8] и подтверждено нашими исследованиями [21]. Способность бактерий преобразовывать одни виды фталатов в другие может служить объяснением несоответствия соотношений между видами фталатов в культуральных средах (табл. 1) и в среде роста корней (рис. 2).

Заключение

Приведенные результаты свидетельствуют о несхожем характере проявления у проростков гороха растения защитной реакции антимикробной направленности на уровне ризосферы, которое обнаружилось у них при взаимодействии в течении 1 суток с бактериями эндофитного и эпифитного типа сосуществования с ним. Повышение под влиянием *R. leguminosarum* bv. *viciae* содержания соединений негативного действия на бактерии: пизатина, N-ФНА и фталатов в среде роста корней проростков гороха является свидетельством усиления у них защитной реакции. Возможно, это усиление имеет связь с процессами адгезии ризобий на поверхности корней и началом прорастания их в корневые волоски, которые характерны для данного этапа

формирования бобово-ризобияльного симбиоза [6]. Обнаруженное уменьшение количества вышеперечисленных соединений в среде роста корней с бактериями *A. chroococum* показывает на ослабление защитной реакции против бактерий и на возникновение более комфортных условий для существования ризосферных бактерий в прикорневой зоне проростков гороха.

Бактерии *R. leguminosarum* bv. *viceae* и *A. chroococum*, отличающиеся по активности катаболизма N-ФНА и, по-видимому, различной возможностью для прохождения процесса метаболизации фталатов по β -кетoadипатному пути, в прикорневой области проростков гороха вносили различный вклад в содержание и в состав фталатов.

Практические рекомендации

N-ФНА – это соединение, которое имеет не только биотическое, но и техногенное происхождение (синтезирован химиками и широко используется в различных химических технологиях). Его аккумуляция в окружающей среде может негативно сказываться на животных организмах и на здоровье человека. Приведенные в работе данные по способности деградации N-ФНА у свободноживущих азотфиксирующих бактерий штамма *A. chroococum*, показывающие на его высокую деградирующую активность, позволяют рекомендовать его для применения в качестве компонента биопрепаратов для рекультивации почв, загрязненных соединениями аналогичной структуры (нафталины).

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

Conflict of interest information. The authors declare that they have no conflicts of interest.

Благодарности. Авторы выражают глубокую благодарность сотрудникам СИФИБР СО РАН А.В. Сидорову за техническую помощь при микроскопических исследованиях бактерий и Н.А. Соколовой и И.Г. Петровой за техническую помощь при проведении ВЭЖХ- и ГХ-МС-анализов.

Аналитическая работа выполнена на оборудовании ЦКП “Биоаналитика” СИФИБР СО РАН (г. Иркутск). Работа выполнена в рамках проекта под № гос.регистрации АААА-А17-117011810099-8.

Acknowledgment. The authors express their deep gratitude to the research members of SIPPB SB RAS, Ph.D. A.V. Sidorov for his technical assistance in microscopic studying of the bacteria, for technical assistance in HPLC and GC-MS analysis, of Sokolova N.A. and Petrova I.G.

Analytical work was performed with the equipment of the Common Use Center 'Bioanalytics' of SIPPB SB RAS (Irkutsk). The work was carried out within the framework of the project under the state registration number AAA-A-17-117011810099-8.

Список литературы

1. Акимова Г.П., Верхотуров В.В., Соколова М.Г. Влияние *Azotobacter* на активность пероксидазы и содержание пероксида водорода в корнях проростков гороха, инокулированных *Rhizobium* // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2017. Т. 7, № 4. С. 126-131. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2017-7-4-126-131>
2. Акимова Г.П., Верхотуров В.В., Соколова М.Г., Белопухов С.Л. Модуляция про/антиоксидантной активности пероксидазы в корнях проростков гороха, инокулированных *Rhizobium* и *Azotobacter* // Известия ТСХА. 2019. Вып. 1. С. 138-145. <https://doi.org/10.34677/0021-342X-2019-1-138-145>
3. Берестецкий В.А. Методические рекомендации по получению новых штаммов *Rhizobium leguminosarum* и оценки их эффективности. Л.: ВНИИ-ИСХМ, 1976. 31 с.
4. Вайшла О.Б., Бондаренко А.А. Пат. № 2231546, Российская Федерация. Штамм бактерий AZ D10 ВКМ В-2272, обладающий ростстимулирующими свойствами и устойчивый к дельтаметрину / Патентообладатель Томский государственный университет; заявл. 28.08.2002; опубл. 27.06.2004.
5. Макарова Л. Е., Петрова И. Г., Соколова Н. А., Мориц А. С. Влияние бактерий *Rhizobium leguminosarum* bv. *viceae* и *Pseudomonas syringae* bv. *pisi* на содержание негативных аллелопатических соединений в корневых экссудатах проростков гороха (*Pisum sativum* L.) // Агрехимия. 2020. № 3. С. 62–69. <https://doi.org/10.31857/S0002188120030096>
6. Макарова Л.Е., Нурминский В.Н. Влияние температуры на локализацию «свободных» фенольных соединений в тканях корней и деформацию корневых волосков у инокулированных *Rhizobium* проростков гороха // Цитология. 2005. Т. 47, № 6. С. 519-525.
7. Мельникова Н.Н., Михалкив Л.М., Омельчук С.В., Береговенко С.К. Ризосферные микроорганизмы как фактор регулирования формирования бобово-ризобиального симбиоза // Физиология растений и генетика. 2018. Т. 50, № 4. С. 299-321. <https://doi.org/10.15407/frg2018.04.299>
8. Пастухова Е.С., Егорова В.О., Соколова Н.А., Плотникова Е.Г. Бактерии-деструкторы орто-фталевой кислоты, выделенные из отходов калийного

- производства // Вестник Пермского университета. Биология. 2010. № 3. С. 227-232. <https://rus.neicon.ru/xmlui/handle/123456789/5594>
9. Проворов Н.А., Воробьев Н.И. Генетические основы эволюции растительно-микробного симбиоза. СПб: Информ-Навигатор, 2012. 400 с.
 10. Alim Al-Bari M.A., Sayeed M.A., Rahman M.S., Mossadik M.A. Characterization and antimicrobial activities of a phthalic acid derivative produced by *Streptomyces bangladeshiensis* a novel species collected in Bangladesh // Research Journal of Medicine and Medical Sciences. 2006. Vol. 1, N 2. P. 77-81.
 11. Altenburger R., Brack W., Greco W.R., Groot M., Jung K., Ovari A., Riedl J., Schwab K., Küster E. On the mode of action of N-phenyl-2-naphthylamine in plants // Environ. Sci. Technol. 2006. Vol. 40, N 19. P. 6163-6169. <https://doi.org/10.1021/es060338e>
 12. Carlson R.E., Dolphin D.H. *Pisum sativum* stress metabolites: two cinnamylphenols and 2'-methoxychalcone // Phytochemistry. 1982. Vol. 21, N 7. P. 1733-1736. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(82\)85049-8](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(82)85049-8)
 13. Cruickshank I.A.M. Studies of phytoalexins. IY. The antimicrobial spectrum of pisatin // Australian Journal of Biological Sciences. 1962. Vol. 15, N 1. P. 141-159. <https://doi.org/10.1071/BI9620147>
 14. Durham D.R., Stirling L.A., Ornston L.N., Perry J.J. Intergeneric evolutionary homology revealed by the study of protocatechuate 3,4-dioxygenase from *Azotobacter vinelandii* // Biochemistry. 1980. Vol. 19, Issue 1. P. 149-155. <https://doi.org/10.1021/bi00542a023>
 15. Hartwig U.A., Josef C.M., Phillips D.A. Flavonoid released naturally from alfalfa seeds enhance growth rate of *Rhizobium meliloti* // Plant Physiol. 1991. V. 95, N 3. P. 797-803. <https://doi.org/10.1104/pp.95.3.797>
 16. Hauser R., Calafat A.M. Phthalates and human health // Occup Environ Med. 2005. Vol. 62, N 11. P. 806-818. <https://doi.org/10.1104/pp.95.3.797>
 17. Kato-Noguchi H. Isolation and identification of an allelopathic substance in *Pisum sativum* // Phytochemistry. 2003. Vol. 62, N 7. P. 1141-1144. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(02\)00673-8](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(02)00673-8)
 18. Liang D.-W., Zhang T., Fang H.H.P., He J. Phthalates biodegradation in the environment // Applied Microbiology and Biotechnology. 2008. Vol. 80, Issue 2. P. 183-198. <https://doi.org/10.1007/s00253-008-1548-5>
 19. Makarova L.E., Dudareva L.V., Petrova I.G. The content of phenolic compounds in the pea seedling root exudates depends on size of their roots and inoculation of bacteria mutualistic and antagonistic type of interactions // J. Stress Physiology & Biochemistry. 2015. V. 11, Issue 3. P. 94-103. http://www.jspb.ru/issues/2015/N3/JSPB_2015_3_94-103.pdf

20. Makarova L.E., Dudareva L.V., Petrova I.G., Vasil'eva G.G. Secretion of phenolic compounds into root exudates of pea seedlings upon inoculation with *Rhizobium leguminosarum* bv. *vicia* or *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* // Appl. Biochem. Microbiol. 2016. Vol. 52. P. 205-209. <https://doi.org/10.1134/S0003683816020095>
21. Makarova L.E., Morits A.S., Sokolova N.A., Petrova I.G., Semenov A.A., Dudareva L.V., Tretyakova M.S., Sidorov A.V. Degradation of N-phenyl-2-naphthylamine by *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae*, *Pseudomonas syringae* pv. *pisi*, *Clavibacter michiganensis* ssp. *sepedonicus* bacteria // Appl. Biochem. Microbiol. 2020. Vol. 56. P. 165-173. <https://doi.org/10.1134/S0003683820010123>
22. Makarova, L.E., Smirnov, V.I., Klyba, L.V., Petrova, I.G., Dudareva, L.V. Role of allelopathic compounds in the regulation and development of legume-rhizobial symbiosis // Appl. Biochem. Microbiol. 2012. Vol. 48. P. 355–362. <https://doi.org/10.1134/S0003683812030064>
23. Makoi J.H.R., Ndakidemi P.A. Biological, ecological and agronomic significance of plant phenolic compounds in rhizosphere of the symbiotic legumes (review) // African J. Biotechnology. 2007. Vol. 6, N 12. P. 1358-1368. <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/57520>
24. Mankidy R., Wiseman S., Ma H., Giesy J.P. Biological impact of phthalates // Toxicology Letters. 2013. Vol. 217, N 1. P. 50-58. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2012.11.025>
25. Marek, E.V., Koslitz, S., Weiss, T., Fartasch, M., Schlüter, G., Käßlerlein, H.U. Brüning, T. Quantification of N-phenyl-2-naphthylamine by gas chromatography and isotope-dilution mass spectrometry and its percutaneous absorption *ex vivo* under workplace conditions // Arch Toxicol. 2017. Vol. 91. P. 3587-3596. <https://doi.org/10.1007/s00204-017-2046-2>
26. Novak K. Production of phytoalexin in pea roots by rhizobia. Interrelationships between Microorganisms and Plants in Soil. Czechslovakia, 1987 / Eds. V. Vančura, F. Kunc. Prague: Academia. 1989. P. 63-66. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)70197-1](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)70197-1)
27. Parke D., Ornston L.N. Enzymes of the β - Ketoacid Pathway Are Inducible in *Rhizobium* and *Agrobacterium* spp. And Constitutive in Bradyrhizobium spp. // J. Bacteriol. 1986. Vol. 165, N 1. P. 288-292. <https://doi.org/10.1128/jb.165.1.288-292.1986>
28. Shaficova T.N., Omelichkina Y.V., Enikeev A.G., Boyarkina S.V., Gvildis D.E., Semenov A.A. Ortho-phthalic acid esters suppress the phytopathogen capability for biofilm formation // Doklady Biological Sciences. 2018. Vol. 480. P. 107-109. <https://doi.org/10.1134/S0012496618030092>

29. Sweigard J.A., Matthews D.E., VanEtten H.D. Synthesis of the phytoalexin pisatin by a methyltransferase from pea // *Plant Physiol.* 1986. Vol. 80, No. 1. P. 277-279. <https://doi.org/10.1104/pp.80.1.277>
30. VanEtten, H.D., Temporini, E., Wassman, C. Phytoalexin (and phytoanticipin) tolerance as a virulence trait: why is it not required by all pathogens? // *Physiol. Molec. Plant Pathol.* 2001. Vol. 59, N 2. P. 83-93. <https://doi.org/10.1006/pmpp.2001.0350>

References

1. Akimova G.P., Verkhoturov V.V., Sokolova M.G. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya*, 2017, vol. 7, no. 4, pp. 126-131. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2017-7-4-126-131>
2. Akimova G.P., Verkhoturov V.V., Sokolova M.G., Belopukhov S.L. *Izvestiya TSKhA*, 2019, no. 1, pp. 138-145. <https://doi.org/10.34677/0021-342X-2019-1-138-145>
3. Berestetskiy V.A. *Metodicheskie rekomendatsii po polucheniyu novykh shtamov Rhizobium leguminosarum i otsenki ikh effektivnosti* [Methodical recommendations for obtaining new strains of *Rhizobium leguminosarum* and assessing their effectiveness]. L.: VNIISKhM, 1976, 31 p.
4. Vaishlya O.B., Bondarenko A.A. Patent No. 2231546, Russian Federation. Bacterial strain AZ D10 VKM B-2272, which has growth-stimulating properties and is resistant to deltamethrin / Patented Tomsk State University; app. 28.08.2002; publ. June 27, 2004.
5. Makarova L. E., Petrova I. G., Sokolova N. A., Morits A. S. *Agrokhiimiya*, 2020, no. 3, pp. 62–69. <https://doi.org/10.31857/S0002188120030096>
6. Makarova L.E., Nurminskiy V.N. *Tsitologiya*, 2005, vol. 47, no. 6, pp. 519-525.
7. Mel'nikova N.N., Mikhalkiv L.M., Omel'chuk S.V., Beregovenko S.K. *Fiziologiya rasteniy i genetika*, 2018, vol. 50, no. 4, pp. 299-321. <https://doi.org/10.15407/frg2018.04.299>
8. Pastukhova E.S., Egorov V.O., Sokolova N.A., Plotnikova E.G. *Vestnik Permskogo universiteta. Biologiya*, 2010. no. 3, pp. 227-232. <https://rus.neicon.ru/xmlui/handle/123456789/5594>
9. Provorov N.A., Vorob'ev N.I. *Geneticheskie osnovy evolyutsii rastitel'no-mikrobnogo simbioza* [Genetic foundations of the evolution of plant-microbial symbiosis]. Spb: Inform-Navigator, 2012, 400 p.
10. Alim Al-Bari M.A., Sayeed M.A., Rahman M.S., Mossadik M.A. Characterization and antimicrobial activities of a phthalic acid derivative produced by *Streptomyces bangladesiensis* a novel species collected in Bangladesh. *Research Journal of Medicine and Medical Sciences*, 2006, vol. 1, no. 2, pp. 77-81.

11. Altenburger R., Brack W., Greco W.R., Groot M., Jung K., Ovari A., Riedl J., Schwab K., Küster E. On the mode of action of N-phenyl-2-naphthylamine in plants. *Environ. Sci. Technol.*, 2006, vol. 40, no. 19, pp. 6163-6169. <https://doi.org/10.1021/es060338e>
12. Carlson R.E., Dolphin D.H. Pisum sativum stress metabolites: two cin-namylphenols and 2'-methoxychalcone. *Phytochemistry*, 1982, vol. 21, no. 7, pp. 1733-1736. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(82\)85049-8](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(82)85049-8)
13. Cruickshank I.A.M. Studies of phytoalexins. IY. The antimicrobial spectrum of pisatin. *Australian Journal of Biological Sciences*, 1962, vol. 15, no. 1, pp. 141-159. <https://doi.org/10.1071/BI9620147>
14. Durham D.R., Stirling L.A., Ornston L.N., Perry J.J. Intergeneric evolutionary homology revealed by the study of protocatechuate 3,4-dioxygenase from *Azotobacter vinelandii*. *Biochemistry*, 1980, vol. 19, issue 1, pp. 149-155. <https://doi.org/10.1021/bi00542a023>
15. Hartwig U.A., Josef C.M., Phillips D.A. Flavonoid released naturally from alfalfa seeds enhance growth rate of *Rhizobium meliloti*. *Plant Physiol.*, 1991, vol. 95, no. 3, pp. 797-803. <https://doi.org/10.1104/pp.95.3.797>
16. Hauser R., Calafat A.M. Phthalates and human health. *Occup Environ Med.*, 2005, vol. 62, no. 11, pp. 806-818. <https://doi.org/10.1104/pp.95.3.797>
17. Kato-Noguchi H. Isolation and identification of an allelopathic substance in *Pisum sativum*. *Phytochemistry*, 2003, vol. 62, no. 7, pp. 1141-1144. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(02\)00673-8](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(02)00673-8)
18. Liang D.-W., Zhang T., Fang H.H.P., He J. Phthalates biodegradation in the environment. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2008, vol. 80, issue 2, pp. 183-198. <https://doi.org/10.1007/s00253-008-1548-5>
19. Makarova L.E., Dudareva L.V., Petrova I.G. The content of phenolic compounds in the pea seedling root exudates depends on size of their roots and inoculation of bacteria mutualistic and antagonistic type of interactions. *J. Stress Physiology & Biochemistry*, 2015, vol. 11, issue 3, pp. 94-103. http://www.jspb.ru/issues/2015/N3/JSPB_2015_3_94-103.pdf
20. Makarova L.E., Dudareva L.V., Petrova I.G., Vasil'eva G.G. Secretion of phenolic compounds into root exudates of pea seedlings upon inoculation with *Rhizobium leguminosarum* bv. viciae or *Pseudomonas siringae* pv. pisi. *Appl. Biochem. Microbiol.*, 2016, vol. 52, pp. 205-209. <https://doi.org/10.1134/S0003683816020095>
21. Makarova L.E., Morits A.S., Sokolova N.A., Petrova I.G., Semenov A.A., Dudareva L.V., Tretyakova M.S., Sidorov A.V. Degradation of N-phenyl-2-naphthylamine by *Rhizobium leguminosarum* bv. viciae, *Pseudomonas*

- syringae pv. pisi, *Clavibacter michiganensis* sps. sepedonicus bacteria. *Appl. Biochem. Microbiol.*, 2020, vol. 56, pp. 165-173. <https://doi.org/10.1134/S0003683820010123>
22. Makarova, L.E., Smirnov, V.I., Klyba, L.V., Petrova, I.G., Dudareva, L.V. Role of allelopathic sompounds in the regulation and development of legume-rhizobial symbiosis. *Appl. Biochem. Microbiol.*, 2012, vol. 48, pp. 355–362. <https://doi.org/10.1134/S0003683812030064>
 23. Makoi J.H.R., Ndakidemi P.A. Biological, ecological and agronomic sig-nificance of plant phenolic compounds in rhizosphere of the symbiotic legumes (re-view). *African J. Biotechnology*, 2007, vol. 6, no. 12, pp. 1358-1368. <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/57520>
 24. Mankidy R., Wiseman S., Ma H., Giesy J.P. Biological impact of phthalates. *Toxicology Letters*, 2013, vol. 217, no. 1, pp. 50-58. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2012.11.025>
 25. Marek, E.V., Koslitz, S., Weiss, T., Fartasch, M., Schlüter, G., Käßlerlein, H.U. Brüning, T. Quantification of N-phenyl-2-naphthylamine by gas chromatog-raphy and isotope-dilution mass spectrometry and its percutaneous absorption ex vivo under workplace conditions. *Arch Toxicol.*, 2017, vol. 91, pp. 3587-3596. <https://doi.org/10.1007/s00204-017-2046-2>
 26. Novak K. Production of phytoalexin in pea roots by rhizobia. Interrelationships between Microorganisms and Plants in Soil. Czechslovakia, 1987 / Eds. V. Vančura, F. Kunc. Prague: Academia. 1989, pp. 63-66. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)70197-1](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)70197-1)
 27. Parke D., Ornston L.N. Enzymes of the β - Ketoacid Pathway Are Inducible in *Rhizobium* and *Agrobacterium* spp. And Constitutive in *Bradyrhizobium* spp. *J. Bacteriol.*, 1986, vol. 165, no. 1, pp. 288-292. <https://doi.org/10.1128/jb.165.1.288-292.1986>
 28. Shaficova T.N., Omelichkina Y.V., Enikeev A.G., Boyarkina S.V., Gvildis D.E., Semenov A.A. Ortho-phthalic acid esters suppress the phytopathogen capability for biofilm formation. *Doklady Biological Sciences*, 2018, vol. 480, pp. 107-109. <https://doi.org/10.1134/S0012496618030092>
 29. Sweigard J.A., Matthews D.E., VanEtten H.D. Synthesis of the phytoalexin pisatin by a methyltransferase from pea. *Plant Physiol.*, 1986, vol. 80, no. 1, pp. 277-279. <https://doi.org/10.1104/pp.80.1.277>
 30. VanEtten, H.D, Temporini, E., Wassman, C. Phytoalexin (and phytoanti-cipin) tolerance as a virulence trait: why is it not required by all pathogens? *Physiol. Molec. Plant Pathol.*, 2001, vol. 59, no 2, pp. 83-93. <https://doi.org/10.1006/pmpp.2001.0350>

ВКЛАД АВТОРОВ

Макаровой Л.Е. разработана схема проведения исследований и произведено обобщение полученных результатов.

Макарова Л.Е., Мориз А.С., Капустина И.С. в равной мере участвовали в проведении экспериментов.

Математическую и статистическую обработку результатов совместно выполнили **Макарова Л.Е.** и **Макаров С.С.**

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The research scheme was developed and the results obtained were generalized by **L.E. Makarova**.

Equally participated in the experiments **L.E. Makarova, A.S. Morits** and **I.S. Kapustina**.

The mathematical and statistical processing of the results was jointly performed by **L.E. Makarova** and **S.S. Makarov**.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Макарова Людмила Евгеньевна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории физиологии устойчивости растений *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук (СИФИБР СО РАН)*
ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация
makarova@sifibr.irk.ru

Капустина Ирина Сергеевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии растительной клетки *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук (СИФИБР СО РАН)*
ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация
nirinka24@mail.ru

Мориз Анна Сергеевна, ведущий инженер лаборатории физиологии устойчивости растений;
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук (СИФИБР СО РАН)
ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация

Макаров Святослав Станиславович, магистрант Института высоких технологий, инженер по автоматизации ИРНТУ, УНПК «Вентиляции и кондиционирования»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (ФГБОУ «ИРНТУ»)

*ул. Лермонтова, 83, г. Иркутск, 664074, Российская Федерация
slavaclimat@yandex.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Lyudmila E. Makarova, Dr.Sci. (Biology), Principal Research Scientist of the Plant Resistance Physiology Laboratory

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS

132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation

makarova@sifibr.irk.ru

SPIN-code: 4619-9220

ORCID: 0000-0002-4582-8245

ReseecherID: I-7708-2018

Scopus Autor ID: 710272011

Irina S. Kapustina, Ph.D., Senior Researcher of the Plant Cell Laboratory

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS

132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation

nirinka24@mail.ru

ORCID: 0000-00015159-9816

ReseecherID: J-6476-2018

Anna S. Morits, Lead Engineer of the Plant Resistance Physiology Laboratory

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS

132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation

Sviatoslav S. Makarov, Master Student

National Research Irkutsk State Technical University

83, Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian Federation

slavaclimat@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-2145-9502

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-185-201

УДК 581.1:581.19

АНАЛИЗ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ В КЛЕТКАХ СУСПЕНЗИОННОЙ КУЛЬТУРЫ *ARABIDOPSIS THALIANA* С ПОНИЖЕННОЙ ЭКСПРЕССИЕЙ ГЕНА *NDB2*

*И.В. Федосеева, А.И. Катышев, А.В. Федяева,
А.В. Степанов, Г.Б. Боровский*

Обоснование. Альтернативный путь дыхания митохондрий растений не связан с синтезом АТФ и, следовательно, не контролируется непосредственно энергетическим статусом клетки. Альтернативный дыхательный путь включает в себя ротенон нечувствительные *NAD(P)H* дегидрогеназы II типа, расположенные как на внешней, так и на внутренней поверхности внутренней мембраны митохондрий, убихинон и альтернативную оксидазу (АОХ). Предполагается, что альтернативные *NAD(P)H* дегидрогеназы имеют функции, сходные с функциями АОХ, среди которых термогенез, предотвращение образования АФК, окисление избытка восстановителей для продолжения метаболических путей и др. Публикаций об успешном подавлении экспрессии *NDB2* пока недостаточно. Например, показано, что растения арабидопсиса, лишённые и *АОХ1а* и *NDB2* были более чувствительны к комбинированной засухе и повышенному освещению, в то время как растения, гиперэкспрессирующие эти гены, демонстрировали повышенную устойчивость и способность к постстрессовому восстановлению.

Цель. Целью данной работы являлось изучить, как подавление экспрессии *NDB2* в гетеротрофных клетках суспензионной культуры арабидопсиса повлияет на экспрессию других генов альтернативного пути дыхания, разобщающих белков, а также генов белков теплового шока в не стрессовых условиях.

Материалы и методы. Для выделения РНК отбирали по 5 мл клеток суспензионных культур. РНК выделяли с помощью реактивов из набора GeneJET Plant RNA Purification Mini Kit (Thermo Scientific, Литва), согласно инструкции производителя.

Синтез первой цепи кДНК осуществляли с использованием набора реактивов Thermo Scientific (Литва), согласно рекомендациям фирмы производителя.

ПЦР-РВ проводили на приборе CFX96™ Real-Time PCR Detection System (Bio-Rad, США), используя набор реактивов qPCR mix-HS SYBR (Евроген, Россия), согласно инструкции производителя. Анализ данных ПЦР-РВ проводили с помощью программного обеспечения SFX Manager (Bio-Rad, Германия).

Все эксперименты проводились в двух аналитических и трех биологических повторностях. В качестве референсного гена использовали ген, кодирующий глицеральдегид-3-фосфат дегидрогеназу – GAPD.

Результаты. Количество мРНК гена *NDB2* в клетках суспензионной культуры линии *AS5* было снижено в 8,2 раза по сравнению с контролем *Col-0*. Подавление экспрессии гена *NDB2* в клетках суспензионной культуры *арабидопсиса* линии *AS5* приводило к увеличению количества транскриптов не только гена *NDB4*, но и *NDB1*, а также *NDA2* и *NDC1*; в то же время экспрессия генов *NDB3* и *NDA1* снижалась по сравнению с клетками *Col-0*. Мы не обнаружили изменения уровней экспрессии генов *AOX1a*, *AOX1b* и *AOX1d* в клетках линии *AS5* по сравнению с контролем, однако количество транскриптов гена *AOX1c* несколько увеличивалось. При анализе уровней экспрессии генов, кодирующих разобщающие белки, было обнаружено увеличение экспрессии гена *UCP1* в клетках линии *AS5*. В клетках суспензионной культуры линии *AS5* повышались уровни экспрессии всех исследуемых нами генов БТШ, кроме *HSP17.7*.

Заключение. Таким образом, полученные результаты предполагают, что подавление экспрессии гена *NDB2* в гетеротрофных клетках *арабидопсиса* в отсутствие стресса изменяет редокс-статус клетки, что, в свою очередь, приводит к изменениям уровней накопления транскриптов других генов *NAD(P)H* дегидрогеназ и увеличению экспрессии генов БТШ, при этом экспрессия ключевых генов *AOX* не изменяется.

Ключевые слова: *Arabidopsis thaliana* (экотип *Columbia*); *NAD(P)H* дегидрогеназы II типа; экспрессия генов

Для цитирования. Федосеева И.В., Катышев А.И., Федяева А.В., Степанов А.В., Боровский Г.Б. Анализ экспрессии генов в клетках суспензионной культуры *Arabidopsis thaliana* с пониженной экспрессией гена *NDB2* // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 2. С. 185-201. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-185-201

ANALYSIS OF GENE EXPRESSION IN *ARABIDOPSIS THALIANA* SUSPENSION CULTURE CELLS WITH REDUCED *NDB2* GENE EXPRESSION

*I.V. Fedoseeva, A.I. Katyshev, A.V. Fedyaeva,
A.V. Stepanov, G.B. Borovskii*

Background. The alternative respiratory pathway of plant mitochondria is not linked to ATP synthesis and, therefore, is not directly controlled by the energy status of the cell. This alternative pathway includes rotenone insensitive *NAD(P)H* type

II dehydrogenases located on both the outer and inner surfaces of the inner mitochondrial membrane, ubiquinone, and alternative oxidase (AOX). It is supposed that alternative NAD(P)H dehydrogenases have functions similar to those of AOX, including thermogenesis, prevention of ROS formation, oxidation of overage reducing agents for the metabolic pathways maintenance, etc. Publications on the successful NDB2 suppression expression are still insufficient. For example, Arabidopsis plants lacking both AOX1a and NDB2 were shown to be more sensitive to combined drought and high light treatment, while plants overexpressing these genes showed increased tolerance and ability to post-stress recovery.

Purpose. *The aim of this work was to study how the suppression of NDB2 expression in the heterotrophic cells of Arabidopsis suspension culture will affect the expression of other alternative respiratory pathway genes, uncoupling proteins, as well as genes of heat shock proteins under non-stress conditions.*

Materials and methods. *For RNA isolation, 5 ml of suspension culture cells were collected. RNA was isolated using reagents from the GeneJET Plant RNA Purification Mini Kit (Thermo Scientific, Lithuania) according to the manufacturer's instructions.*

The first strand of cDNA was synthesized using the Thermo Scientific reagent kit (Lithuania), according to the manufacturer's recommendations. RT-PCR was carried out on the CFX96™ Real-Time PCR Detection System (Bio-Rad, the USA), using a qPCR mix-HS SYBR reagent kit (Evrogen, Russia) according to the manufacturer's instructions. The analysis of RT-PCR data was performed using the SFX Manager software (Bio-Rad, USA). All experiments were carried out in two analytical and three biological replicates. A gene encoding glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase, GAPD, was used as a reference gene.

Results. *The amount of NDB2 mRNA in the AS5 suspension culture cells was reduced by 8.2 times compared to the control, Col-0. Suppression of the NDB2 expression in AS5 Arabidopsis suspension culture cells resulted in an increase of transcripts amount not only NDB4 gene, but also NDB1, as well as NDA2 and NDC1; at the same time, the NDB3 and NDA1 expression genes decreased in comparison with Col-0 cells. We did not find any changes in the AOX1a, AOX1b, and AOX1d expression levels genes in AS5 cells compared to the control, but the quantity of AOX1c gene transcripts increased slightly. During analyzing the expression levels of the genes encoding the uncoupling proteins, UCP1 gene expression was increased in AS5 cells. In the cells of the AS5 line suspension culture, the expression levels of all the HSPs genes studied by us, except for HSP17.7, increased.*

Conclusion. *Therefore, the results obtained suggest that the suppression of NDB2 gene expression in Arabidopsis heterotrophic cells in the absence of stress alters redox status of cells, which in turn leads to changes in the level of accumulation of*

other NAD(P)H dehydrogenases genes transcripts and the increase of HSPs gene expression, while the key AOX genes expression does not change.

Keywords: *Arabidopsis thaliana* (ecotype Columbia); type II NAD(P)H dehydrogenases; genes expression

For citation. Fedoseeva I.V., Katyshev A.I., Fedyayeva A.V., Stepanov A.V., Borovskii G.B. Analysis of gene expression in *Arabidopsis thaliana* suspension culture cells with reduced NDB2 gene expression. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 185-201. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-185-201

Введение

Альтернативный путь дыхания митохондрий растений не связан с синтезом АТФ и, следовательно, не контролируется непосредственно энергетическим статусом клетки [14]. В классической электрон-транспортной цепи окисление митохондриального NADH происходит через ротенон чувствительный комплекс I и цитохром *c* оксидазу, одновременно генерируя протонный градиент и приводя к синтезу АТФ через АТФ синтазу. Альтернативный дыхательный путь включает в себя ротенон нечувствительные NAD(P)H дегидрогеназы II типа, расположенные как на внешней, так и на внутренней поверхности внутренней мембраны митохондрий, убихинон и альтернативную оксидазу (АОХ) [12, 16, 23]. Альтернативный путь присутствует во всех исследованных на сегодняшний день высших растениях. У многих растений экспрессия компонентов альтернативного пути увеличивается при воздействии химических или экологических стрессов [5, 16, 17, 23]. В арабидопсисе (*Arabidopsis thaliana*) найдены семь генов NAD(P)H дегидрогеназ II типа (ND II) [13] (*NDB1–4*, *NDA1–2* и *NDC1*) и пять генов АОХ (*AOX1a–d* и *AOX2*) [15]. NDB 1–4 локализованы на внешней поверхности внутренней митохондриальной мембраны, в то время как NDA 1 и 2, а также NDC1 были определены как внутренние (обращены к митохондриальному матриксу) [10].

Разобщающие белки (UCPs) образуют подсемейство в семействе митохондриальных белков-носителей и катализируют жирнокислотную рециркуляцию протонов, тем самым модулируя степень связи между митохондриальным переносом электронов и синтезом АТФ [20]. UCP действуют только в присутствии АФК, по-видимому, контролируя и модулируя окислительно-восстановительный статус цепи переноса электронов [7, 9, 20].

Предполагается, что альтернативные NAD(P)H дегидрогеназы имеют функции, сходные с функциями АОХ, среди которых термогенез, предотвращение образования АФК, окисление избытка восстановителей для

поддержания работы метаболических путей и др. [16]. Продукция митохондриальных АФК увеличивается под воздействием внешних стимулов и может активировать запуск либо защитных механизмов (например, белков теплового шока, БТШ), либо приводить к гибели [4]. Поскольку альтернативные NAD(P)H дегидрогеназы растений содержат в качестве кофактора ФАД, исследователи не исключают, что они могут быть потенциальными сайтами генерации АФК у растений [3]. Показано, что делеция гена *NDB4*, кодирующего внешнюю NADH дегидрогеназу *A. thaliana*, приводила к снижению уровня генерации АФК [21]. Другие авторы [24, 25] показали, что снижение количества белков NDA1 и NDA2 в результате подавления экспрессии соответствующих генов приводило к замедлению роста и повышению уровня лактата. Снижение количества белка NDB1 нарушало рост растений, но никак не влияло на дыхательную активность. В то же время, недостаток NDB1 значительно влиял на экспрессию генов, участвующих в белковом синтезе, а также в функционировании сигнальных систем растений [25]. Растения нокаут-мутантов арабидопсиса по гену *NDC1*, кодирующего фермент, участвующий в синтезе витамина К в хлоропластах, были очень чувствительны к свету [11]. В растениях арабидопсиса, у которых с помощью РНК интерференции был уменьшен синтез NDB4, значительно увеличивался синтез NDB2 и AOX1a, что привело к уменьшению образования АФК клетками, увеличению солеустойчивости, а также некоторым изменениям в скорости развития и фенотипе растений [21]. Публикаций об успешном подавлении экспрессии *NDB2* пока недостаточно. В одной из работ показано, что растения арабидопсиса, лишённые и *AOX1a* и *NDB2* были более чувствительны к комбинированной засухе и повышенному освещению, в то время как растения, гиперэкспрессирующие эти гены, демонстрировали повышенную устойчивость и способность к постстрессовому восстановлению [22]. Поэтому целью данной работы являлось изучить, как подавление экспрессии *NDB2* в гетеротрофных клетках суспензионной культуры арабидопсиса повлияет на экспрессию других генов альтернативного пути дыхания, разобщающих белков, а также генов белков теплового шока в не стрессовых условиях.

Материалы и методы

Для получения растений со сниженной экспрессией гена *NDB2* арабидопсиса *A. thaliana* (экотип Columbia, Col-0) кДНК, соответствующая транскрибируемой последовательности мРНК этого гена клонировали в антисмысловую ориентации в составе плазмиды pBI121 под контролем 35S

промотора [2] в клетках *Agrobacterium tumefaciens*, штамм C58c1. Агробактериальную трансформацию растений арабидопсиса генетической конструкцией проводили методом окунания цветков [6]. Полученные трансгенные растения отбирали с помощью селекции на канамицине (50 мкг/мл), наличие встройки целевого гена подтверждали с помощью ПЦР.

Суспензионные культуры клеток Col-0 и линии со сниженной экспрессией гена *NDB2* получали и культивировали, как описано ранее [19].

Для выделения РНК отбирали по 5 мл клеток суспензионных культур. РНК выделяли с помощью реактивов из набора GeneJET Plant RNA Purification Mini Kit (Thermo Scientific, Литва), согласно инструкции производителя.

Синтез первой цепи кДНК осуществляли с использованием набора реактивов Thermo Scientific (Литва), согласно рекомендациям фирмы производителя.

ПЦР-РВ проводили на приборе CFX96™ Real-Time PCR Detection System (Bio-Rad, США), используя набор реактивов qPCR mix-HS SYBR (Евроген, Россия), согласно инструкции производителя. Анализ данных ПЦР-РВ проводили с помощью программного обеспечения SFX Manager (Bio-Rad, США). Все эксперименты проводились в двух аналитических и трех биологических повторностях. В качестве референсного гена использовали ген, кодирующий глицеральдегид-3-фосфат дегидрогеназу – *GAPD* [8].

Последовательности использованных в работе олигонуклеотидов приведены в Таблице.

Таблица

Олигонуклеотиды, использованные в экспериментах по определению уровней экспрессии генов *A. thaliana* с помощью ПЦР в реальном времени

Наименование олигонуклеотида	Последовательность, 5'→3'
17.6A-RTL	CTTGACTTTGTGTGTGTGTCTCTGA
17.6A-RTR	CCAAATACACACATTTCTCCACCATA
17.6B-RTL	TTTATCATCGGAGTTGCTTGTGTTT
17.6B-RTR	CATCATAATTCATAGCTCAATCGGAGA
17.6C-RTL	GGTAGTGAAATAATTGGTGTGTGATGTGT
17.6C-RTR	CAAAACAATCCGAGAGGCAGAAGTAT
17.6II-RTL	GTTTTGTGATTGTGTGTTGGATTTATCT
17.6II-RTR	CATCTTAGAACAAAACACCATATCCCT
17.7-RTL	TTCTCTGTTCCATATTTGTCTTTGTGTTC
17.7-RTR	GCATGGATGGTTCAAGAGAGCAA

Окончание табл.

Hsp101-RTL	TCTCCTCCACCTGATGATATTCCA
Hsp101-RTR	CTTGAGCACGACGAATGACCTTA
GAPD RTL	GGCGAGAGTTTTGTGTGTGGTTGA
GAPD RTR	AAGCAGGGAAAACATTAAGAGAAAAGCAA
Ndb2 RTL	CTCCAAGGCTCCAATACACATATCTCTC
Ndb2 RTR	ATCTCTCCTCGTTACTTGTGGTCATTATTT
Ndb3 RTL	TCAGGAACACTGACAAATGAAAGAATTT
Ndb3 RTR	GTTTCGACAGACTTGTGGGAACCAATT
Ndb4 RTL	AAGACAGGTTCAATGGTTGTGGGA
Ndb4 RTR	GCCAGTTTCTCTTTCCTTTGTGGAT
Aox1a RTL	CGGCTGGACCACGTTTGTCT
Aox1a RTR	CCAATCGTCGGAGCTCTAGTCCATA
Aox1b RTL	AATGATGATGAGTCGTCGCTATGGA
Aox1b RTR	CCGCTAGATCCTTTCTCCTCCGTA
Aox1c RTL	CACTACATTACTCCGTCGCTCTCTCT
Aox1c RTR	TTTCGCTGGAGCAAGTTGGTGA, 22-mer
Aox1d RTL	GACATCTCATTAGCACTTGCCCA
Aox1d RTR	TTCCCACTTACCGGAGATGACGT
Ndb1 RTL	TGCCTGCAACTGCTCAGGTC
Ndb1 RTR	GATGCCCGCCAGTTCTGAAG
Nda1 RTL	ATCCTACACTCTCTCGTCCCCTTCT
Nda1 RTR	CTCCAACGCATTAACATACCTCCTT
Nda2 RTL	CACACACACAACGAAGAAGACGAAGA
Nda2 RTR	CGAGAAGCGAGAGTGTATGATAATGATGA
Ndc1 RTL	CCGTTCTCTCCTCTGTATCTTCTCTCA
Ndc1 RTR	GCCACTGTTGTTTGTCACTGCTCT
Ucp1 RTL	GCAGAGAGAGAGAGAGAGGGACGAT
Ucp1 RTR	GGGACGACGACGATTACGGCTA
Ucp2 RTL	CATCAATCATCATCGCTGTTAGAGAGAA
Ucp2 RTR	GCGAAATCTGGAGAAGCACCGA
Ucp3 RTL	GAGCCGAGTGACCAGAGAAGCA
Ucp3 RTR	GGAAACGTAACCTGACTCTGCAACCAT

Результаты исследований и их обсуждение

Количество мРНК гена *NDB2* в клетках суспензионной культуры линии AS5 было снижено в 8,2 раза по сравнению с контролем, Col-0 (рисунок, А).

Показано, что митохондрии, выделенные из зелёных листьев арабидопсиса линии *Atndb2* со сниженной экспрессией гена *NDB2*, резко снижали скорость окисления экзогенного NADH [22]. Авторы предположили, что небольшое количество окислительной активности NADH, оставшееся в растениях *Atndb2*, вероятно, связано с другими внешними NADH деги-

дрогеназами, скорее всего, с *NDB4*. В наших экспериментах подавление экспрессии гена *NDB2* в клетках суспензионной культуры арабидопсиса линии AS5 приводило к увеличению количества транскриптов не только гена *NDB4*, но и *NDB1*, а также *NDA2* и *NDC1*; в то же время экспрессия генов *NDB3* и *NDA1* снижалась по сравнению с клетками Col-0 (рисунок, Б).

Мы не обнаружили изменения уровней экспрессии генов *AOX1a*, *AOX1b* и *AOX1d* в клетках линии AS5 по сравнению с контролем, однако количество транскриптов гена *AOX1c* несколько увеличивалось (рисунок, В). При анализе уровней экспрессии генов, кодирующих разобщающие белки, было обнаружено увеличение экспрессии гена *UCP1* в клетках линии AS5 (рисунок, В). Разобщающие белки действуют только в присутствии АФК, вероятно, при этом контролируя и модулируя окислительно-восстановительный статус цепи переноса электронов [20].

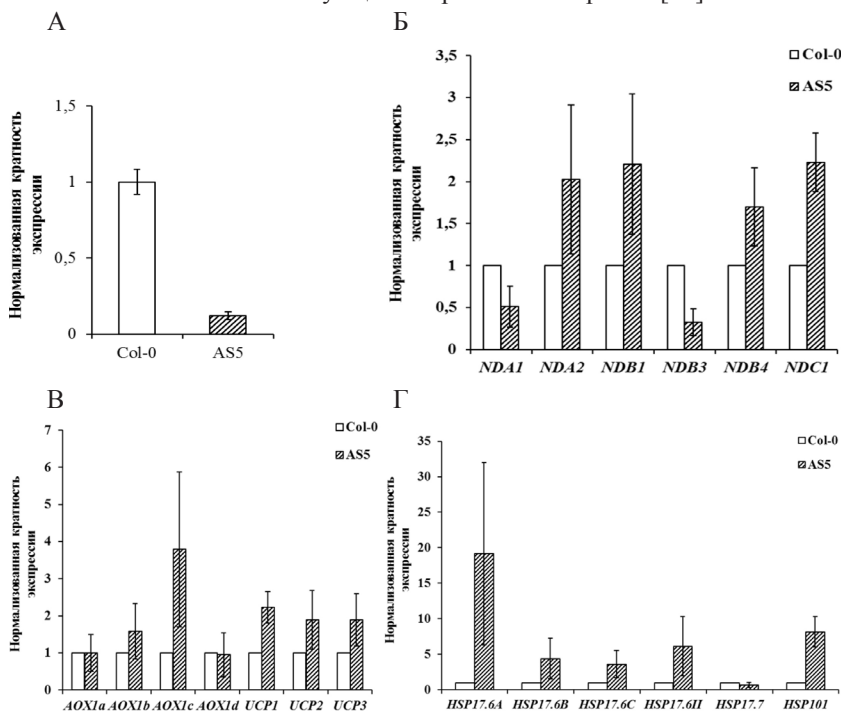


Рис. Сравнительный анализ количества мРНК различных генов в контрольных (Col-0) и трансгенных (AS5) клетках суспензионных культур арабидопсиса. n=3, m±S.E

Продукция АФК рассматривается как вероятный триггер синтеза БТШ, а митохондрии могут быть её основным источником [1]. В клетках суспензионной культуры линии AS5 повышались уровни экспрессии всех исследуемых нами генов БТШ, кроме *HSP17.7* (рисунок, Г).

Таким образом, полученные результаты предполагают, что подавление экспрессии гена *NDB2* в гетеротрофных клетках арабидопсиса в отсутствие стресса изменяет редокс-статус клетки, что, в свою очередь, приводит к изменениям уровней накопления транскриптов других генов НАДН-дегидрогеназ и увеличению экспрессии генов БТШ, при этом экспрессия ключевых генов *AOX* не изменяется.

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

Conflict of interests information. We have no conflict of interest to declare.

Благодарности. Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Биоаналитика» и коллекций ЦКП «Биоресурсный центр» СИФИБР СО РАН.

Acknowledgments. This research was done using the equipment of The Core Facilities Center “Bioanalitika” and the collections of The Core Facilities Center “Bioresource Center” at the Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS (Irkutsk, Russia).

Список литературы

1. Рихванов Е.Г., Федосеева И.В., Пятрикас Д.В., Степанов А.В., Боровский Г.Б., Войников В.К. Механизм функционирования кальциевой сигнальной системы у растений при действии теплового стресса. Роль митохондрий в этом процессе // Физиология растений. 2014. Т. 61, № 2. С. 155-169. <https://doi.org/10.1134/S1021443714020125>
2. Шишлова-Соколовская А.М., Урбанович О.Ю., Федосеева И.В., Боровский Г.Б. Трансформация *Nicotiana tabacum* конструкцией, несущей ген *NDB2* из *Arabidopsis thaliana* в антисмысловой ориентации // Молекулярная и прикладная генетика. 2017. Т. 22. С. 76-83.
3. Amirsadeghi S., Robson C.A., Vanlerberghe G.C. The role of the mitochondrion in plant responses to biotic stress // Physiologia Plantarum, 2007, vol. 129, no. 1, pp. 253-266. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2006.00775.x>
4. Brand M.D. Mitochondrial generation of superoxide and hydrogen peroxide as the source of mitochondrial redox signaling // Free Radic. Biol. Med., 2016, vol. 100, pp. 14-31. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2016.04.001>

5. Clifton R., Millar A.H., Whelan J. Alternative oxidases in Arabidopsis: a comparative analysis of differential expression in the gene family provides new insights into function of non-phosphorylating bypasses // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA): Bioenergetics*, 2006, vol. 1757, no. 7, pp. 730-741. <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2006.03.009>
6. Clough S.J., Bent A.F. Floral dip: a simplified method for *Agrobacterium*-mediated transformation of *Arabidopsis thaliana* // *Plant J.*, 1998, vol. 16, no. 6, pp. 735-743. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3113x.1998.00343.x>
7. Considine M.J., Goodman M., Echtay K.S., Laloi M., Whelan J., Brand M.D., Sweetlove L.J. Superoxide stimulates a proton leak in potato mitochondria that is related to the activity of uncoupling protein // *J. Biol. Chem.*, 2003, vol. 278, no. 25, pp. 22298-22302. <https://doi.org/10.1074/jbc.M301075200>
8. Czechowski T., Stitt M., Altmann T., Udvardi M.K., Scheible W.R. Genome-wide identification and testing of superior reference genes for transcript normalization in Arabidopsis // *Plant Physiology*, 2005, vol. 139, no. 1, pp. 5-17. <https://doi.org/10.1104/pp.105.063743>
9. Echtay K.S., Roussel D., St-Pierre J., Jekabsons M.B., Cadenas S., Stuart J.A., Harper J.A., Roeback S.J., Morrison A., Pickering S., Clapham J.C., Brand M.D. Superoxide activates mitochondrial uncoupling proteins // *Nature*, 2002, vol. 415, pp. 96-99. <https://doi.org/10.1038/415096a>
10. Elhafez D., Murcha M.W., Clifton R., Soole K.L., Day D.A., Whelan J. Characterization of mitochondrial alternative NAD(P)H dehydrogenases in Arabidopsis: intraorganelle location and expression // *Plant Cell Physiology*, 2006, vol. 47, no. 1, pp. 43-54. <https://doi.org/10.1093/pcp/pci221>
11. Fatihi A., Latimer S., Schmollinger S., Block A., Dussault P.H., Vermaas W.F.J., Merchant S.S., Basset G.J. A dedicated type II NADPH dehydrogenase performs the penultimate step in the biosynthesis of vitamin K1 in *Synechocystis* and Arabidopsis // *Plant Cell*, 2015, vol. 27, no. 6, pp. 1730-1741. <https://doi.org/10.1105/tpc.15.00103>
12. Finnegan P.M., Soole K.L., Umbach A.L. Alternative mitochondrial electron transport proteins in higher plants / Eds.: Day D.A., Millar H., Whelan J. // *Plant mitochondria: from genome to function*. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands, 2004, pp. 163-230.
13. Michalecka A.M., Svensson A.S., Johansson F.I., Agius S.C., Johanson U., Brennicke A., Binder S., Rasmusson A.G. Arabidopsis genes encoding mitochondrial type II NAD(P)H dehydrogenases have different evolutionary origin and show distinct responses to light // *Plant Physiol.*, 2003, vol. 133, no. 2, pp. 642-652. <https://doi.org/10.1104/pp.103.024208>

14. Millar A.H., Whelan J., Soole K.L., Day D.A. Organization and regulation of mitochondrial respiration in plants / Eds.: Merchant S.S., Briggs W.R., Ort D. // Annual Review of Plant Biology, 2011, vol. 62, pp. 79-104. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042110-103857>
15. Polidoros A.N., Mylona P.V., Arnholdt-Schmitt B. Aox gene structure, transcript variation and expression in plants // Physiol. Plant., 2009, vol. 137, no. 4, pp. 342-353. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2009.01284.x>
16. Rasmusson A.G., Soole K.L., Elthon T.E. Alternative NAD(P)H dehydrogenases of plant mitochondria // Annu. Rev. Plant Biol., 2004, vol. 55, pp. 23-39. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141720>
17. Rasmusson A.G., Moller I.M. Mitochondrial electron transport and plant stress // Plant Mitochondria; Ed.: Kempken F. NY: Springer, New York, 2011, pp. 357-381.
18. Reczek C.R., Chandel N.S. ROS-dependent signal transduction // Curr. Opin. Cell Biol., 2015, vol. 33, pp. 8-13. <https://doi.org/10.1016/j.ceb.2014.09.010>
19. Rikhvanov E.G., Gamburg K.Z., Varakina N.N., Rusaleva T.M., Fedoseeva I.V., Tauson E.L., Stupnikova I.V., Stepanov A.V., Borovskii G.B., Voinikov V.K. Nuclear-mitochondrial cross-talk during heat shock in Arabidopsis cell culture // Plant J., 2007, vol. 52, no. 4, pp. 763-778. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2007.03275.x>
20. Smith A.M., Ratcliffe R.G., Sweetlove L.J. Activation and function of mitochondrial uncoupling protein in plants // J. Biol. Chem., 2004, vol. 279, no. 50, pp. 51944-51952. <https://doi.org/10.1074/jbc.M408920200>
21. Smith C., Barthet M., Melino V., Smith P., Day D., Soole K. Alterations in the mitochondrial alternative NAD(P)H dehydrogenase *NDB4* lead to changes in mitochondrial electron transport chain composition, plant growth and response to oxidative stress // Plant Cell Physiol., 2011, vol. 52, no. 7, pp. 1222-1237. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcr073>
22. Sweetman C., Waterman C.D., Rainbird B.M., Smith P.M.C., Jenkins C.D., Day D.A., Soole K.L. *AtNDB2* is the main external NADH dehydrogenase in mitochondria and is important for tolerance to environmental stress // Plant Physiology, 2019, vol. 181, no. 2, pp. 774-788. <https://doi.org/10.1104/pp.19.00877>
23. Vanlerberghe G.C. Alternative oxidase: a mitochondrial respiratory pathway to maintain metabolic and signaling homeostasis during abiotic and biotic stress in plants // Int. J. Mol. Sci., 2013, vol. 14, no. 4, pp. 6805-6847. <https://doi.org/10.3390/ijms14046805>
24. Wallström S.V., Florez-Sarasa I., Araújo W.L., Aidemark M., Fernán-dez-Fernández M., Fernie A.R., Ribas-Carbó M., Rasmusson A.G. Suppression of

- the external mitochondrial NADPH dehydrogenase, *NDB1*, in *Arabidopsis thaliana* affects central metabolism and vegetative growth // *Mol. Plant.*, 2014a, vol. 7, no. 2, pp. 356-368. <https://doi.org/10.1093/mp/sst115>
25. Wallström S.V., Florez-Sarasa I., Araújo W.L., Escobar M.A., Geisler D.A., Aidemark M., Lager I., Fernie A.R., Ribas-Carbó M., Rasmusson A.G. Suppression of NDA-type alternative mitochondrial NAD(P)H dehydrogenases in *Arabidopsis thaliana* modifies growth and metabolism, but not high light stimulation of mitochondrial electron transport // *Plant Cell Physiol.*, 2014, vol. 55, no. 5, pp. 881-896. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcu021>

References

1. Rikhvanov E.G., Fedoseeva I.V., Pyatrikas D.V., Stepanov A.V., Borovskiy G.B., Voynikov V.K. *Fiziologiya rasteniy*, 2014, vol. 61, no. 2, pp. 155-169. <https://doi.org/10.1134/S1021443714020125>
2. Shishlova-Sokolovskaya A.M., Urbanovich O.Yu., Fedoseeva I.V., Borovskiy G.B. *Molekulyarnaya i prikladnaya genetika*, 2017, vol. 22, pp. 76-83.
3. Amirsadeghi S., Robson C.A., Vanlerberghe G.C. The role of the mitochondrion in plant responses to biotic stress. *Physiologia Plantarum*, 2007, vol. 129, no. 1, pp. 253-266. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2006.00775.x>
4. Brand M.D. Mitochondrial generation of superoxide and hydrogen peroxide as the source of mitochondrial redox signaling. *Free Radic. Biol. Med.*, 2016, vol. 100, pp. 14-31. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2016.04.001>
5. Clifton R., Millar A.H., Whelan J. Alternative oxidases in Arabidopsis: a comparative analysis of differential expression in the gene family provides new insights into function of non-phosphorylating bypasses. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA): Bioenergetics*, 2006, vol. 1757, no. 7, pp. 730-741. <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2006.03.009>
6. Clough S.J., Bent A.F. Floral dip: a simplified method for *Agrobacterium*-mediated transformation of *Arabidopsis thaliana*. *Plant J.*, 1998, vol. 16, no. 6, pp. 735-743. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3113x.1998.00343.x>
7. Considine M.J., Goodman M., Echtay K.S., Laloi M., Whelan J., Brand M.D., Sweetlove L.J. Superoxide stimulates a proton leak in potato mitochondria that is related to the activity of uncoupling protein. *J. Biol. Chem.*, 2003, vol. 278, no. 25, pp. 22298-22302. <https://doi.org/10.1074/jbc.M301075200>
8. Czechowski T., Stitt M., Altmann T., Udvardi M.K., Scheible W.R. Genome-wide identification and testing of superior reference genes for transcript normalization in Arabidopsis. *Plant Physiology*, 2005, vol. 139, no. 1, pp. 5-17. <https://doi.org/10.1104/pp.105.063743>

9. Echtay K.S., Roussel D., St-Pierre J., Jekabsons M.B., Cadenas S., Stuart J.A., Harper J.A., Roebuck S.J., Morrison A., Pickering S., Clapham J.C., Brand M.D. Superoxide activates mitochondrial uncoupling proteins. *Nature*, 2002, vol. 415, pp. 96-99. <https://doi.org/10.1038/415096a>
10. Elhafez D., Murcha M.W., Clifton R., Soole K.L., Day D.A., Whelan J. Characterization of mitochondrial alternative NAD(P)H dehydrogenases in Arabidopsis: intraorganelle location and expression. *Plant Cell Physiology*, 2006, vol. 47, no. 1, pp. 43-54. <https://doi.org/10.1093/pcp/pci221>
11. Fatihi A., Latimer S., Schmollinger S., Block A., Dussault P.H., Vermaas W.F.J., Merchant S.S., Basset G.J. A dedicated type II NADPH dehydrogenase performs the penultimate step in the biosynthesis of vitamin K1 in *Synechocystis* and Arabidopsis. *Plant Cell*, 2015, vol. 27, no. 6, pp. 1730-1741. <https://doi.org/10.1105/tpc.15.00103>
12. Finnegan P.M., Soole K.L., Umbach A.L. Alternative mitochondrial electron transport proteins in higher plants / Eds.: Day D.A., Millar H., Whelan J. *Plant mitochondria: from genome to function*. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands, 2004, pp. 163-230.
13. Michalecka A.M., Svensson A.S., Johansson F.I., Agius S.C., Johanson U., Brennicke A., Binder S., Rasmusson A.G. Arabidopsis genes encoding mitochondrial type II NAD(P)H dehydrogenases have different evolutionary origin and show distinct responses to light. *Plant Physiol.*, 2003, vol. 133, no. 2, pp. 642-652. <https://doi.org/10.1104/pp.103.024208>
14. Millar A.H., Whelan J., Soole K.L., Day D.A. Organization and regulation of mitochondrial respiration in plants / Eds.: Merchant S.S., Briggs W.R., Ort D. *Annual Review of Plant Biology*, 2011, vol. 62, pp. 79-104. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042110-103857>
15. Polidoros A.N., Mylona P.V., Arnholdt-Schmitt B. Aox gene structure, transcript variation and expression in plants. *Physiol. Plant.*, 2009, vol. 137, no. 4, pp. 342-353. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2009.01284.x>
16. Rasmusson A.G., Soole K.L., Elthon T.E. Alternative NAD(P)H dehydrogenases of plant mitochondria. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 2004, vol. 55, pp. 23-39. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141720>
17. Rasmusson A.G., Moller I.M. Mitochondrial electron transport and plant stress. *Plant Mitochondria*; Ed.: Kempken F. NY: Springer, New York, 2011, pp. 357-381.
18. Reczek C.R., Chandel N.S. ROS-dependent signal transduction. *Curr. Opin. Cell Biol.*, 2015, vol. 33, pp. 8-13. <https://doi.org/10.1016/j.ccb.2014.09.010>
19. Rikhvanov E.G., Gamburg K.Z., Varakina N.N., Rusaleva T.M., Fedoseeva I.V., Tauson E.L., Stupnikova I.V., Stepanov A.V., Borovskii G.B., Voinikov V.K. Nucle-

- ar-mitochondrial cross-talk during heat shock in Arabidopsis cell culture. *Plant J.*, 2007, vol. 52, no. 4, pp. 763-778. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2007.03275.x>
20. Smith A.M., Ratcliffe R.G., Sweetlove L.J. Activation and function of mitochondrial uncoupling protein in plants. *J. Biol. Chem.*, 2004, vol. 279, no. 50, pp. 51944-51952. <https://doi.org/10.1074/jbc.M408920200>
 21. Smith C., Barthelet M., Melino V., Smith P., Day D., Soole K. Alterations in the mitochondrial alternative NAD(P)H dehydrogenase *NDB4* lead to changes in mitochondrial electron transport chain composition, plant growth and response to oxidative stress. *Plant Cell Physiol.*, 2011, vol. 52, no. 7, pp. 1222-1237. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcr073>
 22. Sweetman C., Waterman C.D., Rainbird B.M., Smith P.M.C., Jenkins C.D., Day D.A., Soole K.L. *AtNDB2* is the main external NADH dehydrogenase in mitochondria and is important for tolerance to environmental stress. *Plant Physiology*, 2019, vol. 181, no. 2, pp. 774-788. <https://doi.org/10.1104/pp.19.00877>
 23. Vanlerberghe G.C. Alternative oxidase: a mitochondrial respiratory pathway to maintain metabolic and signaling homeostasis during abiotic and biotic stress in plants. *Int. J. Mol. Sci.*, 2013, vol. 14, no. 4, pp. 6805-6847. <https://doi.org/10.3390/ijms14046805>
 24. Wallström S.V., Florez-Sarasa I., Araújo W.L., Aidemark M., Fernán-dez-Fernández M., Fernie A.R., Ribas-Carbó M., Rasmusson A.G. Suppression of the external mitochondrial NADPH dehydrogenase, *NDB1*, in *Arabidopsis thaliana* affects central metabolism and vegetative growth. *Mol. Plant.*, 2014a, vol. 7, no. 2, pp. 356-368. <https://doi.org/10.1093/mp/sst115>
 25. Wallström S.V., Florez-Sarasa I., Araújo W.L., Escobar M.A., Geisler D.A., Aidemark M., Lager I., Fernie A.R., Ribas-Carbó M., Rasmusson A.G. Suppression of NDA-type alternative mitochondrial NAD(P)H dehydrogenases in *Arabidopsis thaliana* modifies growth and metabolism, but not high light stimulation of mitochondrial electron transport. *Plant Cell Physiol.*, 2014, vol. 55, no. 5, pp. 881-896. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcu021>

ВКЛАД АВТОРОВ

Федосеева И.В.: выделение РНК и синтез кДНК; планирование и проведение экспериментов методом ПЦР-РВ, написание рукописи.

Катышев А.И.: агробактериальная трансформация растений арабидопсиса; подбор последовательностей олигонуклеотидов; обсуждение и анализ полученных результатов.

Федяева А.В.: селекция трансгенных растений, сбор и размножение семенного материала.

Степанов А.В.: получение и культивирование клеток суспензионных культур.

Боровский Г.Б.: планирование экспериментов, обсуждение и анализ полученных результатов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Irina V. Fedoseeva: RNA isolation and cDNA synthesis; designed and performed the experiments by the RT-PCR method and wrote the manuscript.

Alexander I. Katsyhev: agrobacterial transformation of Arabidopsis plants; selection of oligonucleotide sequences; discussed and analysis of the results obtained.

Anna V. Fedyaeva: selection of transgenic plants, collection and propagation of seed material.

Alexey V. Stepanov: preparation and cultivation of suspension culture cells;

Gennadii B. Borovskii: planning of experiments, discussed and analysis of the results obtained.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Федосеева Ирина Владимировна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологической генетики *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук (СИФИБР СО РАН)*
ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация
fedoseeva.irina2009@yandex.ru

Катышев Александр Игоревич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологической генетики *Федеральное бюджетное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук*
ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация
byasky78@mail.ru

Федяева Анна Валерьевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории физиологической генетики *Федеральное бюджетное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук*

*ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация
fedyaeva.anna@mail.ru*

Степанов Алексей Владимирович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологической генетики *Федеральное бюджетное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук*
*ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация
saw33@list.ru*

Боровский Геннадий Борисович, доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории физиологической генетики *Федеральное бюджетное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук*
*ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация
borovskii@sifibr.irk.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Irina V. Fedoseeva, Ph.D., Senior Researcher of the Laboratory of Physiological Genetics

*Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS
132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation
fedoseeva.irina2009@yandex.ru
ORCID: 0000-0001-6529-9304
ResearcherID: J-4468-2018
Scopus Author ID: 22956847000*

Alexander I. Katyshev, Ph.D., Senior Researcher of the Laboratory of Physiological Genetics

*Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS
132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation
byacky78@mail.ru
SPIN-code: 7140-4427
ORCID: 0000-0001-7856-0460
ResearcherID: F-8419-2016
Scopus Author ID: 13408667600*

Anna V. Fedyaeva, Ph.D., Researcher of the Laboratory of Physiological Genetics

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS

132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation

fedyaeva.anna@mail.ru

SPIN-code: 5521-2563

ResearcherID: J-3262-2018

Scopus Author ID: 56025492900

Alexey V. Stepanov, Ph.D., Senior Researcher of the Laboratory of Physiological Genetics

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS

132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation

saw33@list.ru

SPIN-code: 3572-8670

ORCID: 0000-0002-0456-3690

ResearcherID: J-4355-2018

Scopus Author ID: 57213473032

Gennadii B. Borovskii, Dr. Sci. (Biology), Principal Research Scientist of the Laboratory of Physiological Genetics

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS

132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation

borovskii@sifibr.irk.ru

SPIN-code: 7462-7535

ORCID: 0000-0002-5089-5311

ResearcherID: A-5147-2016

Scopus Author ID: 7003990731

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-202-224

УДК 581.1:581.19: 574.5

**ЭФФЕКТЫ ДЕЙСТВИЯ
ФИКОБИЛИПРОТЕИНОВ *ARTHROSPIRA
PLATENSIS* (NORDSTEDT) GOMONT
В РАСТИТЕЛЬНЫХ ТКАНЯХ: АНТИОКСИДАНТНАЯ
АКТИВНОСТЬ В ГЛЮКОЗООКСИДАЗНОЙ
ТЕСТ-СИСТЕМЕ И РАЗОБЩЕНИЕ ОКИСЛЕНИЯ
И ФОСФОРИЛИРОВАНИЯ В МИТОХОНДРИЯХ**

***А.В. Степанов, А.А. Аксенова, Е.А. Полякова,
И.В. Федосеева, О.И. Грабельных, Р.Г. Геворгиз***

Обоснование. Цианобактерия *Arthrospira (Spirulina) platensis* (спирулина) обладает уникальным биохимическим составом и находит широкое применение в различных сферах, в том числе в медицине и сельском хозяйстве. Основные фикобилипротеины (ФБП) спирулины – С-фикоцианин и аллофикоцианин защищают клетки животных от окислительного стресса и дисфункции митохондрий. В то же время мало сведений об антиоксидантных свойствах ФБП в растительной клетке и их влиянии на биоэнергетические параметры митохондрий растений.

Цель. Целью данной работы было изучение влияния экстракта ФБП *A. platensis* на глюкозооксидазную активность и функционирование митохондрий картофеля.

Материалы и методы. ФБП выделяли из сырой биомассы *A. platensis* (Nordstedt) Gomont (штамм IBSS–31) с помощью холодной экстракции и осаждения ацетоном. Белковый экстракт с высокой долей С-фикоцианина использовали в концентрациях 0,025 – 0,25 мг/мл. Об антиоксидантных свойствах ФБП судили по ингибированию глюкозооксидазной активности экстрактов картофеля с повышенной экспрессией гена *GOX*. Окислительную и фосфорилирующую активность митохондрий в присутствии ФБП оценивали полярографическим методом. Статистическую обработку данных осуществляли с помощью SigmaPlot v. 14.0.

Результаты. Глюкозооксидазный тест выявил антиоксидантную активность экстракта ФБП, ярко выраженную при концентрации белка 0,25 мг/мл. В этой же концентрации экстракт вызывал разобщение процессов окисления

и фосфорилирования в митохондриях картофеля при окислении сукцината, связанное с повышением скорости дыхания в состоянии 4 и снижением коэффициента дыхательного контроля.

Заключение. Таким образом, фикобилипротеины *A. platensis* концентрационно-зависимым образом снижают генерацию пероксида водорода в глюкозооксидазной тест-системе и разобщают процессы окисления и фосфорилирования митохондрий растений.

Ключевые слова: *Arthrospira platensis*; фикобилипротеины; С-фикоцианин; глюкозооксидаза; пероксид водорода; митохондрии; разобщение процессов окисления и фосфорилирования

Для цитирования. Степанов А.В., Аксенова А.А., Полякова Е.А., Федосеева И.В., Грабельных О.И., Геворгиз Р.Г. Эффекты действия фикобилипротеинов *Arthrospira platensis* (Nordstedt) Gomont в растительных тканях: антиоксидантная активность в глюкозооксидазной тест-системе и разобщение окисления и фосфорилирования в митохондриях // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 2. С. 202-224. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-202-224

EFFECTS OF THE ACTION OF *ARTHROSPIRA PLATENSIS* (NORDSTEDT) GOMONT PHYCOBILIPROTEINS IN PLANT TISSUES: ANTIOXIDANT ACTIVITY IN THE GLUCOSE OXIDASE TEST SYSTEM AND UNCOUPLING OF OXIDATION AND PHOSPHORYLATION IN MITOCHONDRIA

*A.V. Stepanov, A.A. Aksenova, E.A. Polyakova,
I.V. Fedoseeva, O.I. Grabelnykh, R.G. Gevorgiz*

Background. Cyanobacterium *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* has a unique biochemical composition and is widely used in various fields, including medicine and agriculture. The main phycobiliproteins (PBPs) of *spirulina* – C-phycocyanin and allophycocyanin protect animal cells from oxidative stress and mitochondrial dysfunction. At the same time there is little information about the antioxidant properties of PBPs in a plant cell and their influence on the bioenergetic parameters of plant mitochondria.

Purpose. The aim of this study was to determine the effect of *A. platensis* PBPs extract on glucose oxidase activity and functioning of potato mitochondria.

Materials and methods. PBP_s were isolated from the crude biomass of *A. platensis* (Nordstedt) Gomont (strain IBSS-31) using cold extraction and precipitation with acetone. The protein extract with a high proportion of C-phycocyanin was used at concentrations of 0,025 – 0,25 mg/ml. The antioxidant properties of PBP_s were evaluated by the inhibition of the glucose oxidase activity of potato extracts with increased expression of the GOX gene. The oxidative and phosphorylating activity of mitochondria in the presence of PBP_s was measured by the polarographic method. Statistical data processing was carried out using SigmaPlot v. 14.0.

Results. The glucose oxidase test revealed the antioxidant activity of the PBP_s extract, which was pronounced at a concentration of 0,25 mg / ml. At the same concentration, the extract caused uncoupling of oxidation and phosphorylation in potato mitochondria during succinate oxidation, associated with an increase in the state 4 respiration rate and a decrease of the respiratory control coefficient.

Conclusion. Thus, phycobiliproteins of *A. platensis* in a concentration-dependent manner reduce the generation of hydrogen peroxide in the glucose oxidase test system and cause uncoupling of the oxidation and phosphorylation in the plant mitochondria.

Keywords: *Arthrospira platensis*; phycobiliproteins; C-phycocyanin; glucose oxidase; hydrogen peroxide; mitochondria; uncoupling of oxidation and phosphorylation

For citation. Stepanov A.V., Aksenova A.A., Polyakova E.A., Fedoseeva I.V., Grabelnykh O.I., Gevorgiz R.G. Effects of the action of *Arthrospira platensis* (Nordstedt) Gomont phycobiliproteins in plant tissues: antioxidant activity in the glucose oxidase test system and uncoupling of oxidation and phosphorylation in mitochondria. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 202-224. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-202-224

Фикобилипротеины (ФБП) – пигмент-белковые комплексы фотосинтетического аппарата цианобактерий, красных и криптофитовых водорослей. Цианобактерии используют ФБП в качестве основных светособирающих пигментных комплексов, которые представляют собой ярко окрашенные и водорастворимые хромофорсодержащие белки, собранные в супермолекулярные комплексы (фикобилисомы), примыкающие к тилакоидам с цитоплазматической стороны [8]. У ФБП хромофорные простетические группы представлены линейными тетрапирролами близкими по химическому строению к билинам желчи [8]. Значительный интерес для биологических исследований вызывают ФБП цианобактерии *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis*. С давних пор *A. platensis* и ряд других видов этого рода употребляется в пищу человеком и животными под названием «спирулина». Спирулина богата белком, пигментами (каротиноидами и

фиикоцианинами), полисахаридами, жирными кислотами, комплексом витаминов В, витамином Е и минеральными элементами [3, 21]. Благодаря такому составу она обладает противовоспалительной, антиоксидантной, противоопухолевой, гепатопротекторной, нейрозащитной, иммунологической и другими биологическими активностями [2, 9, 18, 23, 28-30]. Многие из этих свойств обусловлены присутствием в составе спирулины фикобилипротеина – С-фиикоцианина. С-фиикоцианин содержит ковалентно-связанный хромофор – фиикоцианобилин, который обеспечивает максимум поглощения в видимой области спектра при длине волны 620 нм, и является преобладающим среди ФБП спирулины. С-фиикоцианин является гасителем свободных радикалов и, благодаря этому свойству, активным антиоксидантом, предотвращающим образование активных форм кислорода (АФК) и развитие окислительного стресса, перекисное окисление липидов (ПОЛ), повреждение ДНК, разрушение клеточных мембран, дисфункцию митохондрий и гибель клеток [9, 10, 14, 15, 20, 22, 26, 27, 30, 31].

В литературе мало сведений об антиоксидантных свойствах ФБП в растительной клетке и отсутствуют данные об их влиянии на биоэнергетические параметры митохондрий растений. В то же время богатый компонентный состав спирулины определяет перспективу ее использования как биостимулятора для сельскохозяйственных растений. Показано, что филтрат и гомогенат спирулины оказывали положительное влияние на ростовые процессы и элементный состав растений редиса [16]. Белковый гидролизат спирулины стимулировал рост растений кукурузы, накопление в листьях и корнях макро- и микроэлементов, белков, фенольных соединений, хлорофиллов и других соединений [13]. С-фиикоцианин, экстрагированный из *A. platensis*, проявлял антиоксидантную активность как в отношении синтетического радикала DPPH, так и ферментов плодов яблони, таких как полифенолоксидаза и пероксидаза [11]. Тест-системой для проверки антиоксидантных свойств ФБП у растений может стать глюкозооксидазная реакция, сопровождающаяся генерацией пероксида водорода. Фермент глюкозооксидаза (GOX) катализирует реакцию окисления б-D-глюкозы до б-D-глюконо-d-лактона и сопряженное восстановление молекулярного кислорода до пероксида водорода [6]. Получены [6, 7] и введены в культуру [17] растения картофеля, содержащие ген GOX, которые могут быть модельными объектами для проверки антиоксидантных свойств ФБП.

Целью данной работы было изучение влияния экстракта фикобилипротеинов *A. platensis* на глюкозооксидазную активность и функционирование митохондрий картофеля.

Материалы и методы исследования

Экстракцию фикобилипротеинов проводили из биомассы альгологически чистой культуры спирулины (*A. platensis* (Nordstedt) Gomont, штамм IBSS-31) из коллекции культур микроводорослей Федерального исследовательского центра «Института биологии южных морей имени А.О. Ковалевского» РАН (Севастополь, Россия). Спирулину выращивали в колбах Эрленмейера объемом 250 мл на минеральной среде Заррук при pH 9,5 в объеме суспензии 100 мл в камере KBWF 400 (Binder, Германия) с температурой 35°C (14 часов день / 10 часов ночь) и освещенностью 200 мкмоль / (м² · с) фотосинтетически активной радиации (ФАР).

Для получения фикобилипротеинов использовали метод холодной экстракции [2]. Все этапы проводили при 4°C. ФПБ экстрагировали из 1 г сырой биомассы спирулины, общий объем экстракта составлял 10 мл. Спектр ФПБ отслеживали с помощью спектрофотометра S100 (Analytic Jena, Германия). Оптическая плотность водного экстракта фикобилипротеинов имела выраженный пик с максимумом поглощения при 620 нм, соответствующий максимуму поглощения С-фикоцианина. Содержание ФБП рассчитывали согласно [2]. Для определения чистоты ФБП использовали показатель отношения оптических плотностей при двух длинах волн (A_{620}/A_{280}) [8]. Белок из полученного экстракта осаждали 2-х кратным объемом охлажденного ацетона в течение 30 мин при -20°C, затем центрифугировали при 10000 g в течение 10 мин и осадок растворяли в бидистиллированной воде. Концентрацию белка в полученном экстракте определяли по методу Лоури [24], используя бычий сывороточный альбумин (BSA) (Sigma, Германия) в качестве стандарта. Белковый спектр анализировали с помощью электрофореза в 15%-ом ПААГ с додецилсульфатом натрия (ДДС-Na) по Лэмбли, используя ячейку Mini-PROTEAN III Electrophoretic Cell (Bio-Rad, США) согласно [5]. Для определения молекулярных масс субъединиц С-фикоцианина применяли смесь белков (PageRuler Unstained Protein Ladder, Thermo Scientific, Литва).

В экспериментах по изучению влияния ФБП на активность глюкозооксидазы фермент экстрагировали из клубней картофеля (сорта Скарб) линии М, содержащих модифицированный ген глюкозооксидазы (*GOX-mod*) *Penicillium funiculosum* [7]. Клубни были получены от пробирочных растений картофеля [17] и хранились при 4°C. Об активности фермента судили по его способности генерировать H₂O₂ в присутствии глюкозы [7], согласно модифицированному методу количественного определения активности GOX в жидкой среде [1]. Экстракт фермента (0,9 мг белка)

добавляли к раствору, содержащему 25 мМ КJ, 0,5% крахмала и 100 мМ D-глюкозы. В результате окисления глюкозы глюкозооксидазой образуется H_2O_2 , который окисляет КJ, в результате йодкрахмальной реакции происходит окрашивание среды в синий цвет, плотность которой определяли при 595 нм через 60 мин после начала реакции. Активность GOX выражали в усл. ед./г сырого веса. Для использования глюкозооксидазной реакции в качестве потенциальной тест системы для определения антиоксидантной активности ФБП, белковый экстракт с высокой долей С-фикоцианина добавляли в раствор для определения активности GOX в концентрациях 0,025, 0,0625, 0,125 и 0,25 мг/мл, измеряли начальную оптическую плотность при 595 нм (поскольку ФБП имеют синий цвет), добавляли экстракт фермента и инкубировали 60 мин. После инкубации измеряли оптическую плотность при 595 нм и определяли активность GOX, вычитая значение оптической плотности, связанное с окраской ФБП. По ингибированию глюкозооксидазной реакции судили о потенциальной антиоксидантной активности ФБП. В качестве контроля специфичности реакции применяли экзогенные аскорбиновую кислоту (100 мМ) и H_2O_2 (100 мкМ). Стандартная кривая с различными концентрациями H_2O_2 была использована для определения концентрации пероксида водорода в образцах.

Митохондрии выделяли из клубней картофеля (сорт Красное лето) при помощи дифференциального центрифугирования и очистки в градиенте плотности перколла (20 и 5 мл 23 и 45%-ных растворов перколла (v/v)) [4, 25]. Суспензию митохондрий (≈ 18 –22 мг белка/мл) хранили на льду. Концентрацию митохондриального белка определяли по методу Лоури [24]. Интактность внешней мембраны митохондрий рассчитывали по скорости аскорбат-зависимого цитохром *c*-стимулируемого KСN-чувствительного поглощения кислорода в отсутствие и в присутствии 0,04%-ого Тритона X-100.

Скорость поглощения кислорода изолированными митохондриями определяли полярографически кислородным электродом Кларка, используя Oxytherm Oxygen Electrode Unit system (Hansatech Inst., Англия) в ячейке объемом 1,4 мл при 25 °С. Реакционная среда содержала 0,3 М сахарозу, 10 мМ КСl, 5 мМ MgCl₂, 20 мМ MOPS, 0,3% БСА, 10 мМ K₁K₂ (смесь 1 М K₂HPO₄ и 1 М KH₂PO₄, pH 7,5). В качестве субстрата окисления использовали 8 мМ сукцинат в присутствии 5 мМ глутамата (глутамат добавляли для устранения оксалоацетатного ингибирования). Для ингибирования комплекса I дыхательной цепи использовали 3 мкМ ротенона, комплекса IV – 0,4 мМ KСN, альтернативной оксидазы – 1 мМ бензгидроксамовой кислоты (ВНАМ). Максимальную скорость окисления сукцината измеря-

ли в присутствии 200 мкМ АДФ (состояние 3) или 0,5 мкМ карбонилцианид *m*-хлорфенилгидразона (КЦХФ). ФБП добавляли непосредственно в полярографическую ячейку к митохондриальной суспензии в концентрациях 0,025, 0,125 и 0,25 мг/мл реакционной среды (0,1, 0,5 и 1,0 мг/мг митохондриального белка). Из полярограмм рассчитывали скорость поглощения кислорода в метаболическом состоянии 3 (V_3 , скорость окисления субстрата в присутствии АДФ), скорость поглощения кислорода в метаболическом состоянии 4 (V_4 , скорость окисления субстрата после истощения АДФ), коэффициент дыхательного контроля по Чансу-Вильямсу (КДК = V_3/V_4) и отношение АДФ:О (отношение молей фосфорилированного АДФ к количеству атомов поглощенного кислорода) [5]. Для расчета использовали показатели, полученные во 2 и 3 циклах фосфорилирования.

Статистическую обработку данных осуществляли с помощью программного пакета SigmaPlot 14.0. Эксперименты проводили не менее чем в трёхкратной повторности. Нормальность распределения проверяли с помощью критерия Шапиро-Уилки, наличие значимых отличий определяли по *H*-критерию Краскела-Уоллиса. Данные представлены в виде средней арифметической (*M*) и стандартного отклонения (\pm S.D.) или в виде медианы (*Me*) и интерквартильной широты [25%; 75%]. В случае нормального распределения для доказательства наличия значимых различий между средними значениями применяли однофакторный дисперсионный анализ с последующей процедурой множественного сравнения средних по методу LSD Фишера. При распределении отличном от нормального значимость отличий определяли по методу Тьюки. Различия между экспериментальными данными считали статистически значимыми при $P < 0.05$.

Результаты и обсуждение

В работе было изучено влияние белкового экстракта, полученного холодной экстракцией фикобилипротеинов *A. platensis* и последующего осаждения ацетоном, на активность глюкозооксидазы и сопряжение процессов окисления и фосфорилирования в митохондриях картофеля.

Полученный экстракт фикобилипротеинов характеризовался выраженным пиком при 620 нм, что соответствовало максимуму поглощения *S*-фикоцианина с отношением A_{620}/A_{280} , равном 1,59-1,65. Содержание ФБП в биомассе составило $11,63 \pm 0,25\%$ от абсолютно сухого вещества, в том числе *S*-фикоцианина $8,48 \pm 0,18\%$ и аллофикоцианина $3,15 \pm 0,07\%$. После осаждения ацетоном получали белковый экстракт с концентрацией 50 мг/мл.

Электрофорез в 15%-ом ПААГе с ДДС-На по Лэммли подтвердил присутствие С-фикоцианина в качестве основного компонента белкового экстракта. Из электрофореграммы (рис. 1) видно, что полученный белковый экстракт содержит два мажорных полипептида с молекулярными массами субъединиц около 15 и 17 кДа, которые могут быть отнесены к α и β субъединицам С-фикоцианина. Денситометрический анализ геля показал, что эти два указанных полипептида составляют около 70% от суммарного белка.

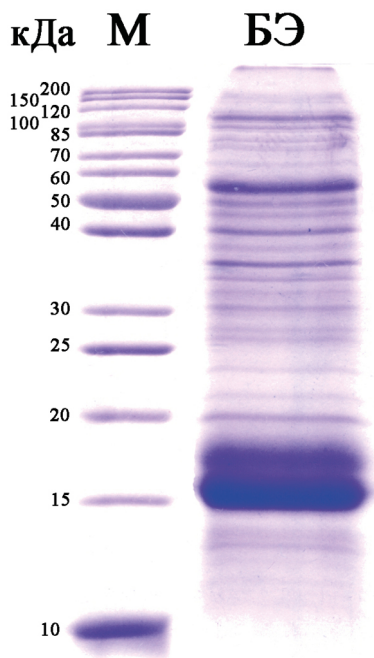


Рис. 1. Белковый экстракт (БЭ) *A. platensis*, полученный после холодной экстракции фикобилипротеинов и последующего осаждения ацетоном.

Примечание: разделение белков проводили с помощью электрофореза в 15%-ом ПААГе с ДДС-На, гель окрашивали Кумасси R-250; М – маркерные белки.

Далее мы оценивали антиоксидантную способность полученного из *A. platensis* белкового экстракта с высокой долей С-фикоцианина. Известно, что С-фикоцианин спирулины обладает антиоксидантным действием [14, 27-29], даже более выраженным по сравнению с действием таким

антиоксидантов как аскорбиновая кислота и тролокс [27]. Существуют различные подходы для определения антиокислительных свойств соединений, в том числе по ингибированию активности прооксидантных ферментов [11]. Глюкозооксидаза – один из ферментов, функционирование которого связано с генерацией активных форм кислорода [6] и поэтому ингибирование глюкозооксидазной реакции может быть использовано в качестве тест-системы для оценки антиоксидантного потенциала ФБП спирулины.

Глюкозооксидазу выделяли из клубней картофеля, полученных в условиях Фитотрона от пробирочных растений с повышенной экспрессией гена *GOX* (линия М) [17]. Применение модифицированного метода определения активности *GOX* в жидкой среде [1] выявило концентрационно-зависимый характер степени ингибирования глюкозооксидазной реакции под действием белкового экстракта с высокой долей С-фикоцианина (рис. 2).

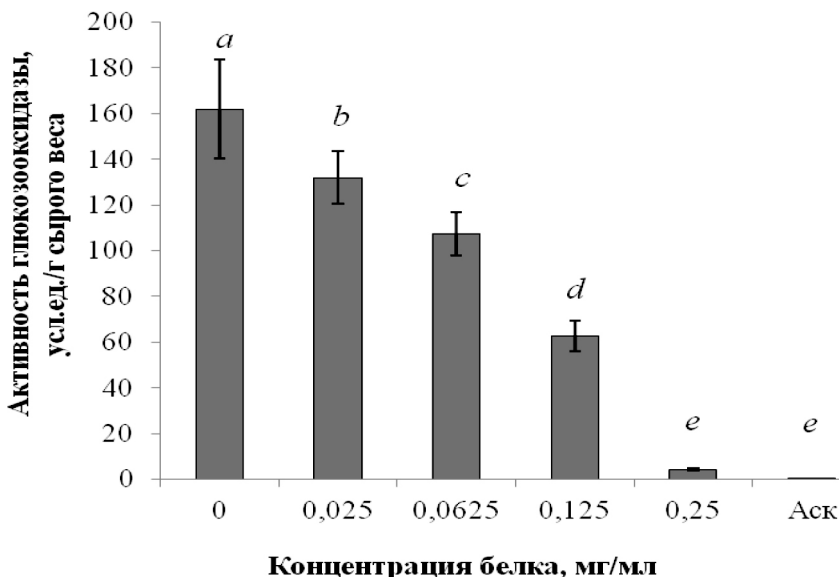


Рис. 2. Ингибирование активности глюкозооксидазы под действием белкового экстракта *A. platensis* с высокой долей С-фикоцианина

Примечание: Ингибирование активности глюкозооксидазы указывает на снижение генерации пероксида водорода в глюкозооксидазной реакции. Аскорбиновая кислота (100 мМ, Аск) использована как эффективный антиоксидант, вызывающий 100%-ое ингибирование реакции. Статистически значимые различия при $P < 0,05$ отмечены на диаграмме разными буквами ($M \pm S.D.$, $n = 3$).

Все изученные концентрации белкового экстракта спирулины приводили к статистически значимому снижению активности глюкозооксидазы и, соответственно, снижению генерации пероксида водорода. Наиболее значительный эффект наблюдался при концентрации белка 0,25 мг/мл среды (рис. 2). В этой концентрации действие белкового экстракта с высокой долей С-фиикоцианина было сопоставимо с антиоксидантным действием аскорбиновой кислоты. В отдельном опыте изучали влияние известных концентраций пероксида водорода на развитие окраски в реакционной среде для определения активности GOX. Как показали результаты, добавление 100 мкМ H_2O_2 в реакционную среду вызывает развитие окраски до оптической плотности, равной таковой в присутствии фермента глюкозооксидазы. Это свидетельствует о том, что применяемая нами тест-система может быть использована для оценки антиоксидантных свойств соединений, в том числе ФБП.

Митохондрии выполняют важную роль в энергетическом метаболизме клетки, образовании биосинтетических предшественников, в процессах адаптации и гибели клеток. Имеются данные о влиянии ФБП спирулины на дыхание клеток животных и параметры функциональной активности митохондрий [14, 20, 26]. С другой стороны показано, что экстракты спирулины оказывают влияние на ростовые процессы и физиолого-биохимические параметры в растительной клетке [13, 16]. Направлено ли действие фикобилипротеинов на митохондрии растений неизвестно. В связи с этим нами изучено влияние белкового экстракта с высокой долей С-фиикоцианина на функционирование растительных митохондрий.

Митохондрии, выделенные из клубней картофеля, характеризовались высокой интактностью внешней мембраны (96–98%) и прочным сопряжением процессов окисления и фосфорилирования. О прочном сопряжении окислительного фосфорилирования в изолированных митохондриях свидетельствует высокий КДК и значение АДФ:О, близкое к теоретически возможному при окислении сукцината (рис. 3б, в), а также стимуляция дыхания под действием искусственного разобщителя КЦХФ (не показано).

Следует заметить, что скорость поглощения кислорода митохондриями картофеля на 96–99% была чувствительна к KCN, что указывает на основной вклад цитохромоксидазы в дыхание митохондрий. Инкубация митохондрий картофеля *in vitro* с белковым экстрактом ФБП в концентрациях 0,025 и 0,125 мг/мл не приводила к значимому изменению окислительной и фосфорилирующей активности митохондрий (рис. 3), хотя в концентрации 0,125 мг/мл наблюдали тенденцию к снижению КДК на фоне неизменной скорости поглощения в состоянии 3 и некоторого усиления скорости поглощения

кислорода в состоянии 4. В концентрации экстракта 0,25 мг/мл происходило статистически значимое повышение скорости поглощения кислорода митохондриями в состоянии 4 (на 53%) и снижение КДК (на 41%) (рис. 3а, б). Ни при одной из изученных концентраций белкового экстракта не получено доказательств значимого снижения отношения АДФ:О, хотя тенденция к некоторому снижению данного показателя прослеживается (рис. 3в).

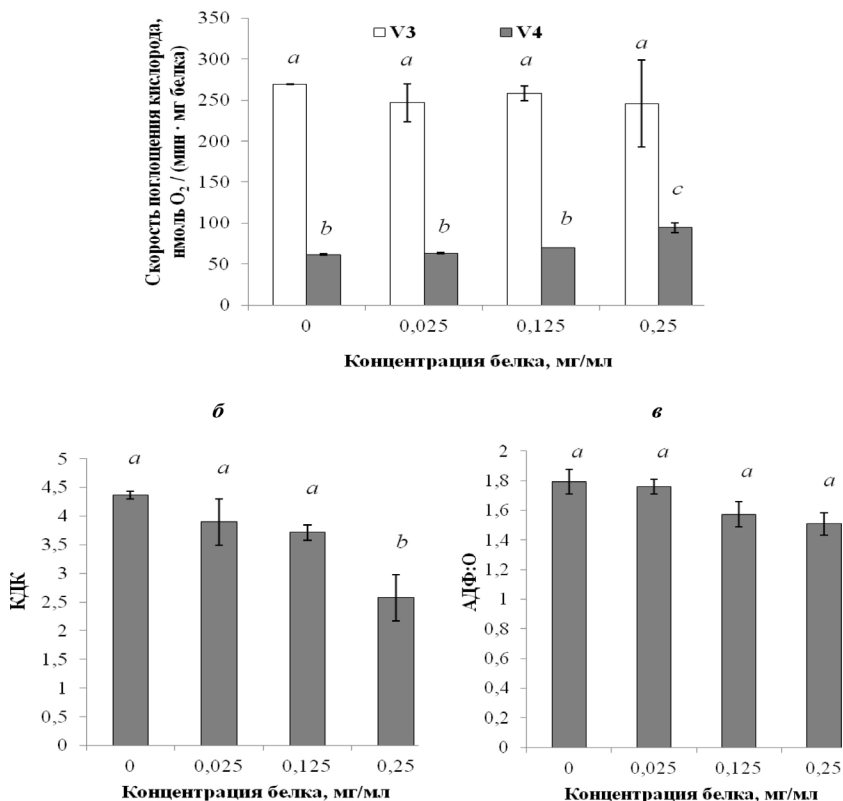


Рис. 3. Влияние белкового экстракта *A. platensis* с высокой долей С-фикоцианина на окислительную и фосфорилирующую активность митохондрий картофеля *in vitro*.

Примечание: а – скорость поглощения кислорода в метаболическом состоянии 3 (V_3) и 4 (V_4); б – коэффициент дыхательного контроля (КДК) по Чансу–Вильямсу; в – отношение АДФ:О. Статистически значимые различия при $P < 0,05$ отмечены на диаграмме разными буквами (Me [25%; 75%], n = 3).

Из литературы известно о влиянии ФБП спирулины на функциональную активность митохондрий животных. Так, на культуре клеток почки собаки MDCK показано, что С-фикоцианин может значительно ингибировать индуцированное оксалатом образование свободных радикалов и ПОЛ, а также поддерживает потенциал на внутренней митохондриальной мембране и синтез АТФ [14]. В другом исследовании также установлено, что С-фикоцианин благотворно влияет на развитие партенотов свиней, предотвращая митохондриальную дисфункцию и развитие окислительного стресса, вызванного экзогенным пероксидом водорода [26]. В этом случае различные концентрации С-фикоцианина, добавленные к зиготам свиньи, предотвращали нарушение потенциала на митохондриальной мембране, выход цитохрома *c* из митохондрий и образование АФК, и, соответственно, снижали развитие апоптоза и аутофагии. Проведенное ими исследование обнаружило новое свойство ФБП спирулины – разобщение процессов окисления и фосфорилирования в митохондриях. Требуются дальнейшие исследования характеристик разобщающего действия фикобилипротеинов *A. platensis* и сопоставление вызываемого ими разобщения с известными механизмами разобщающего действия природных разобщителей, в том числе специализированных белков, подобных термогенину, одной из функций которых является регуляция продукции АФК [12, 19]. Разобщение окислительного фосфорилирования в митохондриях это сложный процесс, в котором задействованы различные механизмы, направленные на снижение потенциала на внутренней мембране митохондрий и диссипацию энергии в виде тепла. Возникновение такого состояния не только влияет на дыхание митохондрий, но также может активировать или препятствовать множеству других клеточных механизмов [12]. Обнаруженная нами способность фикобилипротеинов спирулины разобщать процессы окисления и фосфорилирования в митохондриях имеет перспективы использования для регуляции энергетического баланса как в растительных, так и животных клетках.

Заключение

Таким образом, фикобилипротеины *A. platensis* концентрационно-зависимым образом проявляют антиоксидантный эффект и оказывают влияние на функционирование растительных митохондрий. Так, в глюкозооксиданной тест-системе белковый экстракт спирулины, обогащенный С-фикоцианином, эффективно ингибировал продукцию пероксида водорода и полностью предотвращал его образование в концентрации 0,25 мг/мл. При

инкубации *in vitro* с белковым экстрактом в концентрации, наиболее эффективной для проявления его антиоксидантного действия (0,25 мг/мл), митохондрии картофеля переходили в состояние мягкого разобщения процессов окисления и фосфорилирования. Механизм разобщения окислительного фосфорилирования в растительных митохондриях под действием фикобилипротеинов предстоит выяснить, возможно он связан непосредственно с антиоксидантными свойствами С-фикоцианина или обусловлен его действием как активатора разобщающих систем митохондрий. Можно заключить, что фикобилипротеины спирулины оказывают благоприятное воздействие на метаболизм растительной клетки, участвуя в поддержании ее про/антиоксидантного баланса и регулируя активность митохондрий.

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

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания СИФИБР СО РАН (№ проекта 0277-2021-0002) и государственного задания ФИЦ ИнБЮМ (№ гос. регистрации 121030300149-0). В работе использованы коллекции ФИЦ ИнБЮМ и ЦКП «Биоресурсный центр» СИФИБР СО РАН и оборудование ЦКП «Биоаналитика» СИФИБР СО РАН.

Список литературы

1. Гамбург К.З., Грабельных О.И., Боровик О.А., Боровский Г.Б. Влияние включения гена *GOX* из *Penicillium funiculosum* в геном картофеля сорта Скарб на его устойчивость к длительному охлаждению // Механизмы устойчивости растений и микроорганизмов к неблагоприятным условиям среды: Сборник материалов Годичного собрания Общества физиологов растений России, Всеросс. научн. конф. с междунар. участием и школы молодых ученых, Иркутск, 10–15 июля 2018 г., Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2018, В 2-х частях. Ч. II. С. 898-902. <https://doi.org/10.31255/978-5-94797-319-8-898-902>
2. Геворгиз Р.Г., Нехорошев М.В. Количественное определение массовой доли С-фикоцианина и аллофикоцианина в сухой биомассе *Spirulina (Arthrospira) platensis* North. Geitl. Холодная экстракция : учебно-методическое пособие / РАН, Ин-т морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского. Севастополь, 2017. 21 с. <https://repository.marine-research.org/handle/299011/46>
3. Кедик С.А., Ярцев Е.И., Сакаева И.В., Жаворонок Е.С., Панов А.В. Влияние спирулины и ее компонентов на иммунную систему // Биофармацевти-

- ческий журнал. 2011. Т. 3, № 3. С. 3-10. <https://submit.biopharmj.ru/ojs238/index.php/biopharmj/article/view/84>
4. Клименко Е.С., Кулинченко М.В., Гребнев П.А., Дитриш А., Константинов Ю.М. Изучение импорта ДНК разной длины и структуры в митохондриях растений // *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*. 2014. V. 10, N 4. P. 78-84. <https://doi.org/10.31255/978-5-94797-319-8-1276-1279>
 5. Побежимова Т.П., Колесниченко А.В., Грабельных О.И. Методы изучения митохондрий растений. Полярография и электрофорез. М.: ООО «НПК Промэкспобезопасность», 2004. 98 с.
 6. Савчин Д.В., Панюш А.С., Картель Н.А. Генетическая трансформация растений векторными конструкциями с геном *GOX Penicillium funiculosum* // Сб. науч. тр. Институт генетики и цитологии НАН Беларуси, Минск, 2011. Т. 12. С. 49-55.
 7. Савчин Д.В., Вересова Т.Н., Межнина О.А., Панюш А.С., Вячеславова А.О., Голденкова-Павлова И.В. Оптимизация кодонового состава грибно-го гена *gox Penicillium funiculosum* для эффективной экспрессии в растениях *Solanum tuberosum* // *Весті НАН Беларусі. Сер. Біял. Навук*. 2015. № 1. С. 50-55. <https://vestibio.belnauka.by/jour/article/view/99>
 8. Стадничук И.Н., Тропин И.В. Фикобилипротеины: строение, функции и использование в биотехнологии // *Прикладная биохимия и микробиология*, 2017. Т. 53, № 1. С. 5-15. <https://doi.org/10.7868/S0555109917010184>
 9. Bashandy S.A.E., El Awdan S.A., Ebaid H., Alhazza I.M. Antioxidant potential of *Spirulina platensis* mitigates oxidative stress and reprotoxicity induced by sodium arsenite in male rats // *Oxid. Med. Cell. Longev*. 2016. Vol. 2016. ID 7174351. <https://doi.org/10.1155/2016/7174351>
 10. Bhat V.B., Madyastha K.M. C-phycocyanin: a potent peroxyl radical scavenger *in vivo* and *in vitro* // *Biochem. Biophys. Res. Commun*. 2000. Vol. 275. P. 20–25. <https://doi.org/10.1006/bbrc.2000.3270>
 11. de Souza T.D., Prietto L., de Souza M. M., Furlong E.B. Profile, antioxidant potential, and applicability of phenolic compounds extracted from *Spirulina platensis* // *African Journal of Biotechnology*. 2015. Vol. 41. P. 2903-2909. <https://doi.org/10.5897/AJB2015.14926>
 12. Demine S., Renard P., Arnould T. Mitochondrial uncoupling: a key controller of biological processes in physiology and diseases // *Cells*. 2019. Vol. 8. P. 795. <https://doi.org/10.3390/cells8080795>
 13. Ertani A., Nardi S., Francioso O., Sanchez-Cortes S., Di Foggia M., Schiavon M. Effects of two protein hydrolysates obtained from chickpea (*Cicer arietinum* L.) and *Spirulina platensis* on *Zea mays* (L.) plants // *Front. Plant Sci*. 2019. Vol. 10. P. 954. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00954>

14. Farooq S.M., Boppana N.B., Asokan D., Sekaran S.D., Shankar E.M., Li C., Gopal K., Bakar S.A., Karthik H.S., Ebrahim A.S. C-Phycocyanin confers protection against oxalate-mediated oxidative stress and mitochondrial dysfunctions in MDCK cells // PLoS One. 2014. Vol. 4. P. e93056. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093056>
15. Fernández-Rojas B., Medina-Campos O.N., Hernández-Pando R., Negrette-Guzmán M., Huerta-Yepez S., Pedraza-Chaverri J. C-phycocyanin prevents cisplatin-induced nephrotoxicity through inhibition of oxidative stress // Food & function. 2014. Vol. 5. P. 480. <https://doi.org/10.1039/c3fo60501a>
16. Godlewska K., Michalak I., Pacyga P., Baśladyńska S., Chojnacka K. Potential applications of cyanobacteria: *Spirulina platensis* filtrate and homogenates in agriculture // World Journal Microbiol. Biotechnol. 2019. Vol. 35. P. 80. <https://doi.org/10.1007/s11274-019-2653-6>
17. Grabelnych O. I., Borovik O. A., Lyubushkina I. V., Gamburg K. Z., Fedyaeva A. V., Fedoseeva I. V., Stepanov A. V., Rikhvanov E. G., Sauchyn D. V., Urbanovich O. Yu., Borovskii G. B. Biological effects of potato plants transformation with glucose oxidase gene and their resistance to hyperthermia // Journal of Stress Physiology & Biochemistry. 2017. Vol. 13, N 1. P. 5-14. http://www.jspb.ru/issues/2017/N1/JSPB_2017_1_05-14.pdf
18. Hongsthong A., Bunnag B. Overview of Spirulina: biotechnological, biochemical and molecular biological aspects. Chapter 2 In: Handbook on Cyanobacteria. Eds: P.M. Gault, H.J. Marler. Nova Science Publishers Inc., 2009. P. 51-103.
19. Ježek P., Holendová B., Garlid K.D., Jabůrek M. Mitochondrial uncoupling proteins: subtle regulators of cellular redox signaling // Antioxidants & Redox Signaling. 2018. Vol. 29, N 7. <https://doi.org/10.1089/ars.2017.7225>
20. Konícková R., Vanková K., Vaníková J., Vánová K., Muchová L., Subhanová I., Zadinová M., Zelenka J., Dvorač A., Kolár M., Strnad H., Rimpelová S., Ruml T., Wong R. J., Vítek L. Anti-cancer effects of blue-green alga *Spirulina platensis*, a natural source of bilirubin-like tetrapyrrolic compounds // Annals of Hepatology. 2014. Vol. 13, N 2. P. 273-283. [https://doi.org/10.1016/S1665-2681\(19\)30891-9](https://doi.org/10.1016/S1665-2681(19)30891-9)
21. Koru E. Earth Food *Spirulina (Arthrospira)*: Production and quality standards // Food Additive. 2012. P. 191-202. <https://doi.org/10.5772/31848>
22. Li Y.-J., Han Z., Ge L., Zhou C.-J., Zhao Y.-F., Wang D.-H., Ren J.G., Niu X.-X., Liang C.-G. C-phycocyanin protects against low fertility by inhibiting reactive oxygen species in aging mice // Oncotarget. 2016. Vol. 7, N 14. P. 17393-17409. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.8165>
23. Liu Q., Huang Y., Zhang R., Cai T., Cai Y. Medical application of *Spirulina platensis* derived c-phycocyanin // Evid. Based Complement. Alternat. Med. 2016. Vol. 2016. ID 7803846. <https://doi.org/10.1155/2016/7803846>

24. Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.L., Randall R.J. Protein measurement with the folin phenol reagent // J. Biol. Chem. 1951. Vol. 193. P. 265-275.
25. Neuburger M., Journet E.P., Bligny R., Carde J.P., Douce R. Purification of plant mitochondria by isopycnic centrifugation in density gradients of Percoll // Arch. Biochem. Biophys. 1982. Vol. 217, N 1. P. 312-323. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(82\)90507-0](https://doi.org/10.1016/0003-9861(82)90507-0)
26. Niu Y.-J., Zhou W., Guo J., Nie Z.-W., Shin K.-T., Kim N.-H., Lv W.-F., Cui X.-S. C-phycocyanin protects against mitochondrial dysfunction and oxidative stress in parthenogenetic porcine embryos // Scientific Reports. 2017. Vol. 7. 16992, <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17287-0>
27. Romay C., Gonzalez R. Phycocyanin is an antioxidant protector of human erythrocytes against lysis by peroxy radicals // J. Pharm. Pharmacol. 2000. Vol. 52. P. 367-368. <https://doi.org/10.1211/0022357001774093>
28. Romay C., Gonzalez R., Ledon N., Ramirez D., Rimbau V. C-phycocyanin: a biliprotein with antioxidant, anti-inflammatory and neuroprotective effects // Curr. Protein. Pept. Sci. 2003. Vol. 4. P. 207-216. <https://doi.org/10.2174/1389203033487216>
29. ThaaKur S., Sravanthi R. Neuroprotective effect of Spirulina in cerebral ischemia-reperfusion injury in rats // J. Neural Transm. 2010. Vol. 117. P. 1083-1091. <https://doi.org/10.1007/s00702-010-0440-5>
30. Wu Q., Liu L., Miron A., Klímová B., Wan D., Kuča K. The antioxidant, immunomodulatory, and anti-inflammatory activities of Spirulina: an overview // Arch. Toxicol. 2016. Vol. 90. P. 1817-1840. <https://doi.org/10.1007/s00204-016-1744-5>
31. Zheng J., Inoguchi T., Sasaki S., Maeda Y., McCarty M.F., Fujii M., Ikeda N., Kobayashi K., Sonoda N., Takayanagi R. Phycocyanin and phycocyanobilin from *Spirulina platensis* protect against diabetic nephropathy by inhibiting oxidative stress // Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. 2013. Vol. 304. P. R110-R120. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00648.2011>

References

1. Gamburg K.Z., Grabelnykh O.I., Borovik O.A., Borovskij G. B. *Mehanizmy ustojchivosti rastenij i mikroorganizmov k neblagoprijatnym uslovijam sredy: Sbornik materialov Godichnogo sobranija Obshhestva fiziologov rastenij Rossii, Vseross. nauchn. konf. s mezhdunar. uchastiem i shkoly molodyh uchenyh, Irkutsk, 10-15 ijulja 2018 g.* [Mechanisms of resistance of plants and microorganisms to unfavorable environmental conditions: Collection of materials of the Annual Meeting of the Society of Plant Physiologists of Russia, All-Russian. scientific. conf. with int. participation and schools of young scientists, Irkutsk, July 10-15, 2018].

- Irkutsk: Izd-vo Instituta geografii im. V.B. Sochavy SO RAN, 2018, part II., pp. 898-902. <https://doi.org/10.31255/978-5-94797-319-8-898-902>
2. Gevorgiz R.G., Nehoroshev M.V. *Kolichestvennoe opredelenie massovoj doli S-fikocianina i allofikocianina v suhoj biomasse Spirulina (Arthrospira) platensis North. Geitl. Holodnaja jekstrakcija : uchebno-metodicheskoe posobie* [Quantification of the mass fraction of C-phycocyanin and allophycocyanin in dry biomass of Spirulina (Arthrospira) platensis North. Geitl. Cold extraction]. RAN, In-t morskih biologicheskikh issledovanij im. A.O. Kovalevskogo, Sevastopol', 2017, 21 p. <https://repository.marine-research.org/handle/299011/46>
 3. Kedik S.A., Jarcev E.I., Sakaeva I.V., Zhavoronok E.S., Panov A.V. *Biofarmaceuticheskij zhurnal*, 2011, vol. 3, no. 3, pp. 3-10. <https://submit.biopharmj.ru/ojs238/index.php/biopharmj/article/view/84>
 4. Klimenko E.S., Kulinchenko M.V., Grebnev P.A., Ditrish A., Konstantinov Ju.M. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 2014, vol. 10, no. 4, pp. 78-84. <https://doi.org/10.31255/978-5-94797-319-8-1276-1279>
 5. Pobezhimova T.P., Kolesnichenko A.V., Grabelnykh O.I. *Metody izuchenija mitohondrij rastenij. Poljarografija i jelektroforez* [Methods for studying plant mitochondria. Polarography and electrophoresis]. M.: OOO «NPK Promjekspobezopasnost'», 2004, 98 p.
 6. Savchin D.V., Panjush A.S., Kartel' N.A. *Sb. nauch. tr., Institut genetiki i citologii NAN Belarusi* [Collection of scientific papers Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus]. Minsk, 2011, vol. 12, pp. 49-55.
 7. Savchin D.V., Veresova T.N., Mezhnina O.A., Panjush A.S., Vjacheslavova A.O., Goldenkova-Pavlova I.V. *Vesci NAN Belarusi. Ser. Bijal. Navuk*, 2015, no. 1, pp. 50-55. <https://vestibio.belnauka.by/jour/article/view/99>
 8. Stadnichuk I.N., Tropin I.V. Phycobiliproteins: structure, functions and biotechnological applications. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2017, vol. 53, no. 1, pp. 1-10. <https://doi.org/10.7868/S0555109917010184>
 9. Bashandy S.A.E., El Awdan S.A., Ebaid H., Alhazza I.M. Antioxidant potential of *Spirulina platensis* mitigates oxidative stress and reprotoxicity induced by sodium arsenite in male rats. *Oxid. Med.Cell. Longev.*, 2016, vol. 2016, id 7174351. <https://doi.org/10.1155/2016/7174351>
 10. Bhat V.B., Madyashta K.M. C-phycocyanin: a potent peroxy radical scavenger *in vivo* and *in vitro*. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 2000, vol. 275, pp. 20-25. <https://doi.org/10.1006/bbrc.2000.3270>
 11. de Souza T.D., Prietto L., de Souza M. M., Furlong E.B. Profile, antioxidant potential, and applicability of phenolic compounds extracted from *Spirulina platensis*

- ensis. African Journal of Biotechnology*, 2015, vol. 41, pp. 2903-2909. <https://doi.org/10.5897/AJB2015.14926>
12. Demine S., Renard P., Arnould T. Mitochondrial uncoupling: a key controller of biological processes in physiology and diseases. *Cells*, 2019, vol. 8, no. 795. <https://doi.org/10.3390/cells8080795>
 13. Ertani A., Nardi S., Francioso O., Sanchez-Cortes S., Di Foggia M., Schiavon M. Effects of two protein hydrolysates obtained from chickpea (*Cicer arietinum* L.) and *Spirulina platensis* on *Zea mays* (L.) plants. *Front. Plant Sci.*, 2019, vol. 10, no. 954. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00954>
 14. Farooq S.M., Boppana N.B., Asokan D., Sekaran S.D., Shankar E.M., Li C., Gopal K., Bakar S.A., Karthik H.S., Ebrahim A.S. C-Phycocyanin confers protection against oxalate-mediated oxidative stress and mitochondrial dysfunctions in MDCK cells. *PLoS One*, 2014, vol. 4, pp. e93056. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093056>
 15. Fernández-Rojas B., Medina-Campos O.N., Hernández-Pando R., Negrette-Guzmán M., Huerta-Yepez S., Pedraza-Chaverri J. C-phycocyanin prevents cisplatin-induced nephrotoxicity through inhibition of oxidative stress. *Food & function*, 2014, vol. 5, no. 480. <https://doi.org/10.1039/c3fo60501a>
 16. Godlewska K., Michalak I., Pacyga P., Baśladyńska S., Chojnacka K. Potential applications of cyanobacteria: *Spirulina platensis* filtrate and homogenates in agriculture. *World Journal Microbiol. Biotechnol.*, 2019, vol. 35, no. 80. <https://doi.org/10.1007/s11274-019-2653-6>
 17. Grabelnych O.I., Borovik O.A., Lyubushkina I.V., Gamburg K.Z., Fedyaeva A.V., Fedoseeva I.V., Stepanov A.V., Rikhvanov E.G., Sauchyn D.V., Urbanovich O.Yu., Borovskii G.B. Biological effects of potato plants transformation with glucose oxidase gene and their resistance to hyperthermia. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 2017, vol. 13, no. 1, pp. 5-14. http://www.jspb.ru/issues/2017/N1/JSPB_2017_1_05-14.pdf
 18. Hongsthong A., Bunnag B. Overview of *Spirulina*: biotechnological, biochemical and molecular biological aspects. Chapter 2 In: Handbook on Cyanobacteria. Eds: P.M. Gault, H.J. Marler. Nova Science Publishers Inc., 2009, pp. 51-103.
 19. Ježek P., Holendová B., Garlid K.D., Jabůrek M. Mitochondrial uncoupling proteins: subtle regulators of cellular redox signaling. *Antioxidants & Redox Signaling*, 2018, vol. 29, no. 7. <https://doi.org/10.1089/ars.2017.7225>
 20. Konická R., Vanková K., Vaníková J., Vánová K., Muchová L., Subhanová I., Zadinová M., Zelenka J., Dvorák A., Kolár M., Strnad H., Rimpelová S., Ruml T., Wong R. J., Vítek L. Anti-cancer effects of blue-green alga *Spirulina platensis*, a natural source of bilirubin-like tetrapyrrolic compounds. *Annals of*

- Hepatology*, 2014, vol. 13, no. 2, pp. 273-283. [https://doi.org/10.1016/S1665-2681\(19\)30891-9](https://doi.org/10.1016/S1665-2681(19)30891-9)
21. Koru E. Earth Food *Spirulina (Arthrospira)*: Production and quality standards. *Food Additive*, 2012. pp. 191-202. <https://doi.org/10.5772/31848>
 22. Li Y-J., Han Z., Ge L., Zhou C.-J., Zhao Y-F., Wang D-H., Ren J.G, Niu X-X., Liang C-G. C-phycoyanin protects against low fertility by inhibiting reactive oxygen species in aging mice. *Oncotarget*, 2016, vol. 7, no. 14, pp. 17393-17409. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.8165>
 23. Liu Q., Huang Y., Zhang R., Cai T., Cai Y. Medical application of *Spirulina platensis* derived c-phycoyanin. *Evid. Based Complement. Alternat. Med.*, 2016, vol. 2016, id 7803846. <https://doi.org/10.1155/2016/7803846>
 24. Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.L., Randall R.J. Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, 1951, vol. 193, pp. 265-275.
 25. Neuburger M., Journet E.P., Bligny R., Carde J.P., Douce R. Purification of plant mitochondria by isopycnic centrifugation in density gradients of Percoll. *Arch. Biochem. Biophys.*, 1982, vol. 217, no. 1, pp. 312-323. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(82\)90507-0](https://doi.org/10.1016/0003-9861(82)90507-0)
 26. Niu Y.-J., Zhou W., Guo J., Nie Z.-W., Shin K.-T., Kim N.-H., Lv W.-F., Cui X.-S. C-phycoyanin protects against mitochondrial dysfunction and oxidative stress in parthenogenetic porcine embryos. *Scientific reports*, 2017, vol. 7, article number: 16992. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17287-0>
 27. Romay C., Gonzalez R. Phycocyanin is an antioxidant protector of human erythrocytes against lysis by peroxy radicals. *J. Pharm. Pharmacol.*, 2000, vol. 52, pp. 367-368. <https://doi.org/10.1211/0022357001774093>
 28. Romay C., Gonzalez R., Ledon N., Ramirez D., Rimbau V. C-phycoyanin: a biliprotein with antioxidant, anti-inflammatory and neuroprotective effects. *Curr. Protein. Pept. Sci.*, 2003, vol. 4, pp. 207-216. <https://doi.org/10.2174/1389203033487216>
 29. Thaakur S., Sravanthi R. Neuroprotective effect of *Spirulina* in cerebral ischemia-reperfusion injury in rats. *J. Neural Transm.* 2010, vol. 117, pp. 1083-1091. <https://doi.org/10.1007/s00702-010-0440-5>
 30. Wu Q., Liu L., Miron A., Klímová B., Wan D., Kuća K. The antioxidant, immunomodulatory, and anti-inflammatory activities of *Spirulina*: an overview. *Arch. Toxicol.*, 2016, vol. 90, pp. 1817-1840. <https://doi.org/10.1007/s00204-016-1744-5>
 31. Zheng J., Inoguchi T., Sasaki S., Maeda Y., McCarty M.F., Fujii M., Ikeda N., Kobayashi K., Sonoda N., Takayanagi R. Phycocyanin and phycocyanobilin from *Spirulina platensis* protect against diabetic nephropathy by inhibiting oxidative stress. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 2013, vol. 304, pp. R110-R120. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00648.2011>

ВКЛАД АВТОРОВ

Степанов А.В.: культивирование растений картофеля, планирование, обсуждение и анализ результатов, написание статьи.

Аксенова А.А.: культивирование спирулины, экстракция фикобилипротеинов.

Полякова Е.А.: выделение митохондрий, определение активности глюкозооксидазы, определение концентрации белка.

Федосеева И.В.: электрофорез белков, оформление рукописи.

Грабельных О.И.: схема эксперимента, полярографический анализ, планирование, обсуждение и анализ результатов, написание рукописи.

Геворгиз Р.Г.: анализ фикобилипротеинов, обсуждение и анализ результатов.

Все авторы прочитали и приняли участие в улучшении текста рукописи.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Alexey V. Stepanov: planning of experiments, performed cultivation of potato, discussed and analysis of the results obtained, writing a manuscript.

Alisa A. Aksenova: performed cultivation of spirulina and extraction of phycobiliproteins.

Elizaveta A. Polyakova: performed isolation of mitochondria, determination of glucose oxidase activity, determination of protein concentration.

Irina V. Fedoseeva: performed protein electrophoresis, manuscript formatting.

Olga I. Grabelnykh: planned, designed this study, performed polarographic analysis, analysis of results, writing a manuscript.

Ruslan G. Gevorgiz: performed analysis of phycobiliproteins, discussed and analysis of the results.

All authors read and approved the manuscript.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Степанов Алексей Владимирович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологической генетики *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук*
ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация
saw33@list.ru

Аксенова Алиса Алексеевна, магистрант; инженер 2 категории лаборатории физиологической генетики

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет»; Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук
ул. Карла Маркса, 1, г. Иркутск, 664003, Российская Федерация; ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация
alisaksenova08@gmail.com*

Полякова Елизавета Алексеевна, магистрант; ведущий инженер лаборатории физиологической генетики

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет»; Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук
ул. Карла Маркса, 1, г. Иркутск, 664003, Российская Федерация; ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация
polyackova.elizaveta727@mail.ru*

Федосеева Ирина Владимировна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологической генетики

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук
ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация
fedoseeva.irina2009@yandex.ru*

Грабельных Ольга Ивановна, доктор биологических наук, главный на-

*учный сотрудник лаборатории физиологической генетики; профессор кафедры физиологии растений, клеточной биологии и генетики
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет»*

*ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация;
ул. Карла Маркса, 1, г. Иркутск, 664003, Российская Федерация
grolga@sifibr.irk.ru*

Геворгиз Руслан Георгиевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела биотехнологий и фиторесурсов
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского» РАН
пр. Нахимова, 2, г. Севастополь, 299011, Российская Федерация
r.gevorgiz@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Alexey V. Stepanov, Ph.D., Senior Researcher of the Laboratory of Physiological Genetics
Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS
132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation
saw33@list.ru
ORCID: 0000-0002-0456-3690
SPIN-code: 3572-8670
ResearcherID: J-4355-2018
Scopus Author ID: 57213473032

Alisa A. Aksenova, Graduate Studies of the Departments of Plant Physiology, Cell Biology and Genetics; Lead Engineer of the Laboratory of Physiological Genetics
Irkutsk State University; Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS
1, K. Marx Str., Irkutsk, 664003, Russian Federation; 132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation
alisaksenova08@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0879-2183

Elizaveta A. Polyakova, Graduate Studies of the Departments of Plant Physiology, Cell Biology and Genetics; Lead Engineer of the Laboratory of Physiological Genetics
Irkutsk State University; Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS
1, K. Marx Str., Irkutsk, 664003, Russian Federation; 132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation
polyakova.elizaveta727@mail.ru
SPIN-code: 4597-1310
ORCID: 0000-0002-4830-5888

Irina V. Fedoseeva, Ph.D., Senior Researcher of the Laboratory of Physiological Genetics

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS

132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation

fedoseeva.irina2009@yandex.ru

ORCID ID: 0000-0001-6529-9304

ResearcherID: J-4468-2018

Scopus Author ID: 22956847000

Olga I. Grabelnykh, Dr. Sci. (Biology), Principal research scientist of the Laboratory of Physiological Genetics; Professor of the Departments of Plant Physiology, Cell Biology and Genetics

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS; Irkutsk State University

132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation; 1, K. Marx

Str., Irkutsk, 664003, Russian Federation

grolga@sifibr.irk.ru

SPIN-code: 1156-0511

ORCID ID: 0000-0003-4220-6608

ResearcherID: R-5190-2016

Scopus Author ID: 6602939392

Ruslan G. Gevorgiz, Ph.D., Senior Researcher of the department biotechnology and phytoresources

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS

2, Nakhimov Ave., 299011, Sevastopol, Russian Federation

r.gevorgiz@yandex.ru

SPIN-code: 5327-4101

ORCID ID: 0000-0002-8017-5593

ResearcherID: D-4133-2016

Scopus AuthorID: 23389070200

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-225-236

UDC 611.013.11

MORPHOLOGICAL FEATURES OF SPERMATOOZOA FROM MALE WHITE RATS UNDER EXPERIMENTAL STRESS

I.Yu. Arestova, E.G. Sharonova, M.Yu. Kupriyanova

We present the effect of stressogenic factors on the morphological parameters of spermatozoa.

Objective. *We studied the morpho-physiological features of spermatozoa from male albino rats under experimental stress.*

Materials and methods. *A experiment was carried out using sexually mature outbred white rats. Combined stress was performed to an experimental group: after three days of starvation, an emotional stress of “free swimming in a cage” technique was provided. Under a microscope, the spermatozoa were counted per volume of epididymal suspension, the activity was evaluated, and the morphology was studied.*

Results. *A study of the epididymal suspension of male rats under starvation and “emotional” stress showed a decrease in the total number of spermatozoa and sperm motility indices, and an increase in the abnormal gamete forms compared to the control.*

Conclusion. *The combined effect of even short-term stressogenic factors leads to significant changes in the spermogram, allowing the quantitative and qualitative seminal fluid parameters to be a convincing criterion of maladaptation processes in the body under the stress.*

Keywords: *stress; spermatogenesis; spermogram; morphology*

For citation. *Arestova I.Yu., Sharonova E.G., Kupriyanova M.Yu. Morphological features of spermatozoa from male white rats under experimental stress. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 225-236. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-225-236*

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СПЕРМАТОЗОИДОВ САМЦОВ БЕЛЫХ КРЫС В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТРЕССА

И.Ю. Арестова, Е.Г. Шаронова, М.Ю. Куприянова

Представлены результаты исследования влияния стрессогенных факторов на морфологические параметры сперматозоидов.

Цель. *Изучение особенностей морфо-физиологии сперматозоидов самцов белых крыс в условиях экспериментального стресса.*

Материалы и методы. Проведен эксперимент с использованием половозрелых беспородных белых крыс. Экспериментальная группа животных подвергалась комбинированному стрессу: трое суток – голод, по истечении третьих суток – эмоциональный стресс, в соответствии с методикой «свободное плавание в клетке». Подсчитывали количество сперматозоидов в единице объема эпидидимальной взвеси, проводилась оценка активности под микроскопом, изучалась морфология.

Результаты. Исследование эпидидимальной взвеси самцов, перенесших голод и «эмоциональный» стресс, показало снижение общего числа сперматозоидов и показателей подвижности сперматозоидов у подопытных крыс по сравнению с контрольными животными, а также увеличение у них патологических форм гамет.

Заключение. Установлено, что даже незначительное по времени, но комбинированное воздействие стрессогенных факторов приводит к существенным изменениям спермограммы, а количественные и качественные параметры семенной жидкости могут служить убедительным критерием дезадаптационных процессов, происходящих в организме под влиянием стресса.

Ключевые слова: стресс; сперматогенез; спермограмма; морфология

Для цитирования. Арестова И.Ю., Шаронова Е.Г., Куприянова М.Ю. Морфологические особенности сперматозоидов самцов белых крыс в условиях экспериментального стресса // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 2. С. 225-236. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-225-236

Introduction

A significant number of clinical observations and experiments confirm the increase of spermatogenesis disorders in modern men [11], [16].

The scientists assess the quality of the ejaculate based on the World Health Organization recommendations [15]. However, the assessment of sperm morpho-physiology is the subject of debate [1]. The data on morpho-functional characteristics of male germ cells under stress conditions differ. This may show that spermatozoa are very sensitive to various factors. Different factors can affect the spermatogenesis and morphology of spermatozoa: physical [19], chemical [7], [24], food [2], biological [8], and social [23], [10].

The effect of stress on spermatogenesis is studied poorly. Studies of the role of damaging factors mainly concern female reproductive function. The ethical component undoubtedly complicated the study of stress factors in spermatogenesis. The stressor component cannot be distinguished easily. However, there is experimental evidence confirming the relationship between stress and impaired spermatogenesis [3], [4], [9].

The purpose of our study was to study the morpho-physiological features of spermatozoa from male albino rats under experimental stress.

Research materials and methods

An experiment was carried out using mature male outbred white rats weighing from 250 to 320 g.

The animals were allocated according to the principle of analogues in control and the experimental groups, 10 animals each. The sample size is small because the study is a pilot one to determine the feasibility of further studies.

The experiment on the animals was conducted in accordance with the “Guidelines for accommodation and care of animals. Species-specific provisions for laboratory rodents and rabbits” (GOST 33216-2014) and the “European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and Other Scientific Purposes” [18].

The experiment lasted for 3 days. The animals of the second experimental group were kept in the absence of food, but with free access to water, experiencing starvation stress. At the end of the third day, all animals of the experimental group were additionally subjected to emotional stress, according to the “free swimming in the cage” technique (animals swam for 3 hours in a plastic aquarium filled with water of 22-24°C).

The control group of animals was intact; the animals were kept in the vivarium, had free access to water and received food in accordance with the regulations.

After three days, all animals were removed from the experiment. The animals were terminated using humane and ethically justified methods.

Testes of rats were examined in the control (10 animals) and the experimental (10 animals subjected to combined stress) groups. To get mature spermatozoa, testicular appendages were cut in 1 mL of 5% glucose solution at 37°C. Then, the appendage was freed from the spermatozoa using a sterile rubber tube [5], [6].

The following parameters were evaluated: the spermatozoa count per volume of epididymal suspension in a hemocytometer (Goryaev chamber); the activity, and the morphology under a microscope. For the micromorphological analysis, 200 sperm cells were counted and measured in stained smears in duplicate. Among the counted germ cells, the percentage of abnormal cells was determined, and the TeratoZoospermia Index (TZI) was calculated as the ratio of the total number of abnormalities detected to the number of abnormal spermatozoa. Sperm smears were studied using a MIKMED-6 light-optical microscope with video-visualization. Images were imported and analyzed using “Micro View” morphometric analysis software (LOMO-Microsystems, SPb, Russia).

The significance of the results in the small sample was tested by nonparametric Mann-Whitney criterion. The values are given as $M \pm s$ (M , mean; s , standard error). The critical level of significance for differences between the means was set as $p=0.05$.

Results and discussion

The data got show that the total number of sperm cells in the male control rats per volume of epididymal suspension was $17.19 \pm 0.52 \cdot 10^6$, which is 35.25% more than in the stressed males ($p<0.05$) (Table 1).

Table 1.

Indicators of epididymal suspension

Indicators	Group		Difference between groups, %
	Control ($n=10$)	Experimental ($n=10$)	
Sperm count, mln/ml	17,19±0,52	11,13±0,81	35,25*
Number of motile sperm, mln/ml	8,44±0,33	7,18±0,16	14,93*
The number of actively moving, mln/ml	4,53±0,52	2,73±0,57	40,18*
Number of dead per 200 cells	15,40±0,97	29,50±0,57	47,80*

Note: hereinafter * – statistically significant ($p<0,05$)

Microscopic examination of the epididymal suspension of males exposed to starvation and “emotional” stress showed a decrease in sperm motility. Thus, the number of motile germ cells in experimental males was $7.18 \pm 0.16 \cdot 10^6$, while in the intact group it was $8.44 \pm 0.33 \cdot 10^6$ ($p<0.05$).

Actively moving of all motile spermatozoa counted in the studied samples of epididymal suspension 53.68 ±2.51% in control and 37.68±3.15% in experimental group ($p<0.05$).

An index that affects fertility is the viability of spermatozoa. To assess the viability of spermatozoa, we counted the number of dead ones per 200 cells. Dead spermatozoa were detected after staining smears of homogenate with eosin.

The number of dead spermatozoa in homogenate smears was higher in the experimental group compared with the control. Thus, the number of dead cells in the control was $7.7 \pm 0.75\%$, while in the stressed males it was $14.75 \pm 1.48\%$ ($p<0.05$).

At the time of the study, the content of viable gametes in control and experimental animals was 92.3 ± 0.68 and $85.3 \pm 1.34\%$, respectively ($p<0.05$).

The pathological gametes were also noted in both control and experimental rats. Among the abnormalities, head, neck, middle part, and tail defects were noted.

The most common abnormalities of morphology were the end of the flagellum as a loop and a cytoplasmic drop on the flagellum (Table 2). From all

abnormal sperm in samples of control animals, these deviations accounted for 6.07 ± 0.52 and $6.33 \pm 0.38\%$ in control, and 8.48 ± 0.45 ($p < 0.05$) and $6.76 \pm 0.7\%$ ($p > 0.05$) in the experimental group.

The spermatozoa with an abnormal acrosome (bloated acrosome, lack of acrosome) accounted for $45.78 \pm 3.52\%$ of all abnormal sperm cells in the rats of the experimental group and $24.9 \pm 2.13\%$ in control ($p < 0.05$).

Combination of flagellar abnormality in the middle part with a drop on the flagellum was found in $0.99 \pm 0.17\%$ of all abnormal cells in control and in $3.99 \pm 0.38\%$ in experimental group ($p < 0.05$).

Table 2.

**Identified anomalies in the development of gametes
(200 cells were counted in each animal)**

Indicators, absolute number of cells	Group		Difference between groups, %
	Control ($n=10$)	Experimental ($n=10$)	
The end of the flagellum in the form of a loop	12,1±1,37	17,0±1,49	28,4*
The presence of a cytoplasmic drop on the flagellum	12,7±1,34	13,5±1,84	6,4
Combination of flagellar anomaly in the middle part with a drop on the flagellum	2,0±0,67	8,0±1,25	75,2*
Acrosome abnormality (swollen acrosome, missing acrosome)	49,8±2,82	91,6±4,12	45,6*
Swollen head	1,2±0,63	–	100*
Slim head	1,6±0,52	20,2±2,94	92,1*
Big head	3,4±0,70	20,4±2,95	83,3*
Inclined head	3,2±0,92	20,2±1,03	84,2*
Cytoplasmic droplet at the base of the head	13,8±1,32	20,0±1,76	31,0*
Double tail	–	1,8±0,79	100*
Wrinkled tail	3,8±0,79	19,6±1,07	80,6*
Short tail	0,6±0,52	20,4±1,26	97,1*
No tail	1,0±0,82	17,0±4,19	94,1*
Total number of detected anomalies	105,2±5,75	269,7±8,78	58,2*
Total number of abnormal cells	76,6±4,84	130,1±5,92	36,9*
TZI	1,37±0,03	2,07±0,06	33,8

The remaining abnormalities of spermatozoa (swollen head, thin head, large head, bowed head, presence of a cytoplasmic drop at the base of the head, double tail, tail with fractures, short tail, and no tail) accounted for 0.9 to 10.2% in the control group, and 0.5 to 6.9% in the experimental group.

TZI in control was lower (1.4) compared with that of the experimental group (2.07).

Despite the quite contradictory data concerning the parameters of the sperm quality [12], [17], [22], the researchers noted that male fertility directly depends on the frequency of morphological deviations of spermatozoa [21]. The mechanisms of morphological deviations of gametes formation also affect the sperm motility [14]. Our study confirmed the latter results.

We found in animals that the male reproductive system responds to simulated stressful conditions. Such a reaction may include a decrease in the total spermatozoa count in the appendage homogenate in the experimental rats compared with the control, and a decrease in the number of actively moving spermatozoa and an increase in the number of dead cells. We can assume it to decrease the fertilizing ability. In addition, morphological abnormalities detected as a cytoplasmic drop on the flagellum and the end of the flagellum as a loop belong to the group of abnormalities most common in infertile couples [20].

Abnormal forms of gametes were found also in both groups but more abundantly in the experimental group.

Similar changes, when exposed to various chronic stressors, were found in earlier studies [13].

Conclusion

In male rats exposed to stressors, the number of spermatozoa per volume of epididymal suspension was significantly lower compared to that in intact males.

The increase in the number of some abnormalities in the sperm morphology in male rats shows the effect of the simulated stress conditions under study.

A higher TZI was found in rats exposed to stressors accompanied by an increase both in the total number of abnormalities detected and in the number of abnormal cells.

Undoubtedly, changes in the ejaculate parameters in experimental animals under simulated stress depends on the strength and duration of the stress exposure. We have shown that even short-term but combined exposure to stressors leads to significant changes in the spermogram, and quantitative and qualitative parameters of the seminal fluid can be a convincing criterion of maladaptation processes in the body under the stress. Our preliminary results show the feasibility of further studies of the effects of combined stresses on male reproductive function.

Conflict of interest information. The authors declare that they have no conflicts of interest.

References

1. Artifeksov S.B., Borodacheva I.V., Sergeev M.Yu. *Problemy reproduksii*, 2017, vol. 23, no. 1, pp. 80-83. <https://doi.org/10.17116/repro201723180-83>
2. Barsukov A.A., Shcherbakov D.V., Lytkina S.V., Churin A.S. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, 2018, no. 6, pp. 32. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=28224>
3. Bryukhin G.V., Sizonenko M.L., Kustavinova E.V. *Problemy reproduksii*, 2014, no. 5, pp. 22-25. <https://www.mediasphera.ru/issues/problemy-reproduksii/2014/5/downloads/ru/031025-7217201454>
4. Denisova T.G., Denisov M.S., Lezhenina S.V., Bushueva E.V., Lyalina T.S., Fedorov A.A. *Acta Medica Eurasica*, 2018, no. 1, pp. 15-21. <http://acta-medica-eurasica.ru/single/2018/1/3/>
5. Las'kov D.S., Bryukhin G.V., Sizonenko M.L., Alymov E.A. *Problemy reproduksii*, 2014, no. 2, pp. 18-22. <https://www.mediasphera.ru/issues/problemy-reproduksii/2014/2/downloads/ru/031025-7217201425>
6. Lutskiy D.L., Nikolaev A.A. *Morfologicheskoe issledovanie eyakulyata: metod. posobie* [Morphological study of ejaculate: method. manual]. Izd-vo AGMA, Astrakhan': Izd-vo Astrakh. gos. med. akad., 1999, 46 p.
7. Mirzakulov D.S. *Osobennosti vliyaniya khlororganicheskikh soedineniy na fertil'nuyu funktsiyu muzhchin, prozhivayushchikh v Oshskoy oblasti* [Features of the influence of organochlorine compounds on the fertile function of men living in the Osh region]. Bishkek, 2014, 109 p.
8. Nitkin D.M., Rakevich M.V., Koleda A.G., Baturevich L.V., Yuraga T.M. *Laboratornaya diagnostika Vostochnaya Evropa*, 2018, vol. 7, no. 4, pp. 517-526.
9. Oganessian M.A., Skuratovskaya L.N., Drozdov G.A. *Patofiziologiya i sovremennaya meditsina materialy konferentsii* [Pathophysiology and modern medicine conference proceedings]. 2004, p. 37.
10. Osadchuk L.V., Popova A.V., Kleshchev M.A., Osadchuk A.V. *Rossiyskiy fiziologicheskii zhurnal im. I.M. Sechenova*, 2017, vol. 103, no. 8, pp. 940-951.
11. Pashkova E.Yu., Kalinchenko S.Yu. *Effektivnaya farmakoterapiya*, 2013, no. 1, pp. 26-31. https://umedp.ru/articles/muzhskoe_besplodie_v_xxi_veke_realii_i_perspektivy_novye_vozmozhnosti_ispolzovaniya_kombinirovanny.html
12. Popova A.V., Kleshchev M.A., Osadchuk A.V., Gutorova N.V., Osadchuk L.V. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya, klinicheskaya meditsina*, 2011, vol. 9, no. 3, pp. 47-54. <https://nsu.ru/xmlui/handle/nsu/4574>
13. Potemina T.E., Kuznetsova S.V., Lyalyaev V.A. *Sovrem. tekhnol. med.*, 2009, no. 2, pp. 23-26. <http://www.stm-journal.ru/ru/numbers/2009/2/568>

14. Proshin S.N., Stepanov G.V., Novikova E.N., Bayramov A.A., Bychkov E.R., Shabanov P.D., Komyakov B.K. *Andrologiya i genital'naya khirurgiya*, 2010, vol. 11, no. 3, pp. 71-75.
15. *Rukovodstvo VOZ po issledovaniyu i obrabotke eyakulyata cheloveka* [WHO guidelines for the study and processing of human ejaculate]. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44261/97859051060905_rus.pdf?sequence=34&ua=1
16. Shevyrin A.A. *Russkiy meditsinskiy zhurnal. Meditsinskoe obozrenie*, 2018, vol. 2, no. 12, pp. 30-35. https://www.rmj.ru/articles/urologiya/Sovremennyy_vzglyad_na_lechenie_narusheniy_mughskoy_fertilnoy_funkcii/
17. Arestova Inessa Y., Vladislav V Alekseev. Boar semen cytomorphology features after intramuscular injections of sedimin® and subsequent diet fortification by a zeolite-containing product. *Biology and Medicine*, 2014, vol. 6, no. 1, article ID: BM-003-14, 2014.
18. Council of Europe. European convention for the protection of vertebrate animals used for experimental and other scientific purpose. Strasbourg, 18.03.1986. <http://www.worldlii.org/int/other/treaties/COETSER/1986/1.html>
19. De Felice F., Marchetti C., Marampon F., Casciagli G., Muzii L. and Tombolini V. Radiation effects on male fertility. *Andrology*, 2019, vol. 7, no. 1, pp. 2-7. <https://doi.org/10.1111/andr.12562>
20. Jouannet P., Ducot B., Feneux D., Spira A. Male Factors and the Likelihood of Pregnancy in Infertile Couples. I. Study of Sperm Characteristics. *Int. J. Androl.*, 1988, vol. 11, no. 5, pp. 379-394. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2605.1988.tb01011.x>
21. Khan M.S, Ali I., Khattak A. M., Ullah A., Khan M.A., Javed A. Frequency of polyzoospermia and teratozoospermia in infertile men. *Gomal J. Medical Science*, 2006, vol. 4, no. 1, pp. 10-14. <http://www.gjms.com.pk/index.php/journal/article/view/77>
22. Meeker J.D., Singh N.P., Hauser R. Serum concentrations of estradiol and free T4 are inversely correlated with sperm DNA damage in men from an infertility clinic. *J. Androl.*, 2008, vol. 29, no. 4, pp. 140-146. <https://doi.org/10.2164/jandrol.107.004416>
23. Swan S.H., Charlene Brazil, Erma Z. Drobnis, Fan Liu, Robin L. Kruse, Maureen Hatch, J. Bruce Redmon, Christina Wang, James W. Overstreet. Geographic differences in semen quality of fertile US males. *Environmental Health Perspectives*, 2003, vol. 111, no. 4, pp. 414–420. <https://doi.org/10.1289/ehp.5927>
24. Tomas Jambor, Hana Greifova, Jana Bistakova and Norbert Lukac. Endocrine Disruptors and Reproductive Health in Males. *Endocrine Disruptors*, Ahmed R. G., IntechOpen, 2018. <https://doi.org/10.5772/intechopen.78538>

Список литературы

1. Артифексов С.Б., Бородачева И.В., Сергеев М.Ю. Мужская инфертильность – методы выявления и пути коррекции // Проблемы репродукции. 2017. Т. 23, № 1. С. 80-83. <https://doi.org/10.17116/repro201723180-83>
2. Барсуков А.А., Щербаков Д.В., Лыткина С.В., Чурин А.С. Влияние факторов питания на показатели эякулята у молодых мужчин // Современные проблемы науки и образования. 2018. № 6. С. 32. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=28224>
3. Брюхин Г.В., Сизоненко М.Л., Куставинова Е.В. Характеристика клеток Лейдига у потомства самок крыс с хроническим поражением печени различного генеза при действии иммобилизационного стресса // Проблемы репродукции. 2014. №5. С. 22-25. <https://www.mediasphera.ru/issues/problemu-reproduksii/2014/5/downloads/ru/031025-7217201454>
4. Денисова Т.Г., Денисов М.С., Леженина С.В., Бушуева Э.В., Лялина Т.С., Федоров А.А. Психо-эмоциональный стресс как фактор риска нарушений состояния репродуктивного здоровья // Acta Medica Eurasica. 2018. № 1. С. 15-21. <http://acta-medica-eurasica.ru/single/2018/1/3/>
5. Ласьков Д.С., Брюхин Г.В., Сизоненко М.Л., Алымов Е.А. Особенности морфофункциональных характеристик сперматозоидов у потомства самок крыс с экспериментальным поражением печени алкогольного генеза // Проблемы репродукции. 2014. №2. С. 18-22. <https://www.mediasphera.ru/issues/problemu-reproduksii/2014/2/downloads/ru/031025-7217201425>
6. Луцкий Д.Л., Николаев А.А. Морфологическое исследование эякулята: метод. пособие. Изд-во АГМА, Астрахань: Изд-во Астрах. гос. мед. акад., 1999. 46 с.
7. Мирзакулов Д.С. Особенности влияния хлороорганических соединений на фертильную функцию мужчин, проживающих в Ошской области: дис. канд. мед. наук. Бишкек, 2014. 109 с.
8. Ниткин Д.М., Ракевич М.В., Коледа А.Г., Батуревич Л.В., Юрага Т.М. Характеристика репродуктивного потенциала эякулята в зависимости от антропометрического статуса и метаболического состояния организма мужчин фертильного возраста // Лабораторная диагностика Восточная Европа. 2018. Т. 7, № 4. С. 517-526.
9. Оганесян М.А., Скуратовская Л.Н., Дроздов Г.А. Нарушение репродуктивной функции в условиях психоэмоционального стресса // Патофизиология и современная медицина материалы конференции. 2004. С. 37.
10. Осадчук Л.В., Попова А.В., Клещев М.А., Осадчук А.В. Региональная изменчивость показателей сперматогенеза и уровня репродуктивных гормо-

- нов у молодых мужчин Западной Сибири // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2017. Т. 103, № 8. С. 940-951.
11. Пашкова Е.Ю., Калинин С.Ю. Мужское бесплодие в XXI веке – реалии и перспективы. Новые возможности использования комбинированной стимулирующей терапии гонадотропинами // Эффективная фармакотерапия. 2013. № 1. С. 26-31. https://umedp.ru/articles/muzhskoe_besplodie_v_xxi_veke_realii_i_perspektivy_novye_vozmozhnosti_ispolzovaniya_kombinirovannoy.html
 12. Попова А.В., Клецёв М.А., Осадчук А.В., Гуторова Н.В., Осадчук Л.В. Морфологический анализ сперматозоидов и связь их аномалий с показателями спермограммы // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Биология, клиническая медицина. 2011. Т. 9, № 3. С. 47-54. <https://nsu.ru/xmlui/handle/nsu/4574>
 13. Потемина Т.Е., Кузнецова С.В., Ляляев В.А. Изменение параметров семенной жидкости самцов белых крыс при различных видах экспериментального стресса // Соврем. технол. мед. 2009. №2. С. 23-26. <http://www.stm-journal.ru/ru/numbers/2009/2/568>
 14. Прошин С.Н., Степанов Г.В., Новикова Е.Н., Байрамов А.А., Бычков Е.Р., Шабанов П.Д., Комяков Б.К. Функциональная характеристика сперматозоидов и индекс тератозооспермии // Андрология и генитальная хирургия. 2010. Т. 11, № 3. С. 71-75.
 15. Руководство ВОЗ по исследованию и обработке эякулята человека. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44261/97859051060905_rus.pdf?sequence=34&ua=1
 16. Шевырин А.А. Современный взгляд на лечение нарушений мужской фертильной функции // Русский медицинский журнал. Медицинское обозрение. 2018. Т. 2, № 12. С. 30-35. https://www.rmj.ru/articles/urologiya/Sovremennyy_vzglyad_na_lechenie_narusheniy_mughskoy_fertilnoy_funkcii/
 17. Arestova Inessa Y., Vladislav V Alekseev. Boar semen cytomorphology features after intramuscular injections of sedimin® and subsequent diet fortification by a zeolite-containing product // Biology and Medicine, 2014, vol. 6, no. 1, Article ID: BM-003-14, 2014.
 18. Council of Europe. European convention for the protection of vertebrate animals used for experimental and other scientific purpose. Strasbourg, 18.03.1986. <http://www.worldlii.org/int/other/treaties/COETSER/1986/1.html>
 19. De Felice F., Marchetti C., Marampon F., Casciagli G., Muzii L. and Tombolini V. Radiation effects on male fertility // Andrology, 2019, vol. 7, no. 1, pp. 2-7. <https://doi.org/10.1111/andr.12562>

20. Jouannet P., Ducot B., Feneux D., Spira A. Male Factors and the Likelihood of Pregnancy in Infertile Couples. I. Study of Sperm Characteristics // *Int. J. Androl.*, 1988, vol. 11, no. 5, pp. 379-394. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2605.1988.tb01011.x>
21. Khan M.S, Ali I., Khattak A. M., Ullah A., Khan M.A., Javed A. Frequency of polyzoospermia and teratozoospermia in infertile men // *Gomal J. Medical Science*, 2006, vol. 4, no. 1, pp. 10-14. <http://www.gjms.com.pk/index.php/journal/article/view/77>
22. Meeker J.D., Singh N.P., Hauser R. Serum concentrations of estradiol and free T4 are inversely correlated with sperm DNA damage in men from an infertility clinic // *J. Androl.*, 2008, vol. 29, no. 4, pp. 140-146. <https://doi.org/10.2164/jandrol.107.004416>
23. Swan S.H., Charlene Brazil, Erma Z. Drobnis, Fan Liu, Robin L. Kruse, Maureen Hatch, J. Bruce Redmon, Christina Wang, James W. Overstreet. Geographic differences in semen quality of fertile US males // *Environmental Health Perspectives*, 2003, vol. 111, no. 4, pp. 414–420. <https://doi.org/10.1289/ehp.5927>
24. Tomas Jambor, Hana Greifova, Jana Bistakova and Norbert Lukac. Endocrine Disruptors and Reproductive Health in Males // *Endocrine Disruptors*, Ahmed R. G., IntechOpen, 2018. <https://doi.org/10.5772/intechopen.78538>

DATA ABOUT THE AUTHORS

Inessa Y. Arestova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Bioecology and Chemistry

I.Y. Yakovlev State Pedagogical University of Chuvash

K. Marx Str., 38, Cheboksary, 428000, Russian Federation

nessizz@rambler.ru

ORCID: 0000-0002-4716-2141

ResearcherID: AAG-7270-2019

Scopus Author ID: 56377067300

Evgeniya G. Sharonova, Candidate of pedagogical sciences, Associate Professor, Head of the Department of Biology and Fundamentals of Medical Knowledge

I.Y. Yakovlev State Pedagogical University of Chuvash

K. Marx Str., 38, Cheboksary, 428000, Russian Federation

evgenija-sharonova@rambler.ru

ORCID: 0000-0002-4155-7118

ResearcherID: AAQ-9484-2020

Marina Y. Kupriyanova, Candidate of biological sciences, Associate Professor, Head of the Department of Bioecology and Chemistry
I.Y. Yakovlev State Pedagogical University of Chuvash
K. Marx Str., 38, Cheboksary, 428000, Russian Federation
sofmar@bk.ru
ORCID: 0000-0003-3247-8052
ResearcherID: AAQ-9443-2020

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Арестова Инесса Юрьевна, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры биоэкологии и химии
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева»
ул. К. Маркса, 38, г. Чебоксары, 428000, Российская Федерация
nessizz@rambler.ru

Шаронова Евгения Геннадьевна, кандидат педагогических наук, доцент, заведующая кафедрой биологии и основ медицинских знаний
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева»
ул. К. Маркса, 38, г. Чебоксары, 428000, Российская Федерация
evgenija-sharopova@rambler.ru

Куприянова Марина Юрьевна, кандидат биологических наук, доцент, заведующая кафедрой биоэкологии и химии
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева»
ул. К. Маркса, 38, г. Чебоксары, 428000, Российская Федерация
sofmar@bk.ru

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-237-244

УДК 616.33- 57.086.83

ВОЗМОЖНОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ И КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ЭПИТЕЛИОЦИТОВ ЖЕЛУДКА

О.В. Перетьяко, В.Д. Беленюк, О.Л. Москаленко

Культивирование клеток слизистой оболочки желудка является достаточно затруднительным. Однако, возможности использования эпителиоцитов в качестве моделей для исследований in vivo достаточно перспективны.

Цель. *Получить первичную культуру клеток слизистой оболочки желудка и оценить её фенотипические и метаболические характеристики.*

Материалы и методы. *В данной работе представлены результаты методического исследования по получению первичных клеточных культур слизистой оболочки желудка человека методом ступенчатого протеолиза и возможности их дальнейшего культивирования. Для оценки фенотипа полученных клеток и их жизнеспособности использовался метод многоцветной проточной цитометрии.*

Результаты исследования. *Были выделены гетерогенные клетки слизистой оболочки желудка с высоким процентом жизнеспособности. В ходе культивирования количество жизнеспособных клеток снижалось незначительно.*

Заключение. *Нами была получена первичная жизнеспособная культура эпителиоцитов желудка, что позволяет заключить, что представленная методика выделения пригодна для получения жизнеспособных клеток.*

Ключевые слова: *первичная культура клеток; эпителиоциты желудка; культивирование клеток*

Для цитирования. *Перетьяко О.В., Беленюк В.Д., Москаленко О.Л. Возможности выделения и культивирования эпителиоцитов желудка // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 2. С. 237-244. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-237-244*

POSSIBILITIES OF ISOLATION AND CULTIVATION OF GASTRIC EPITHELIAL CELLS

O.V. Peretyat'ko, V.D. Belenyuk, O.L. Moskalenko

Cultivation of cells of the gastric mucosa is quite difficult. However, the possibility of using epithelial cells as models for in vivo studies is quite promising.

The purpose. *To obtain a primary culture of gastric mucosa cells and evaluate its phenotypic and metabolic characteristics.*

Materials and methods. *This paper presents the results of a methodological study on obtaining primary cell cultures of the human gastric mucosa by step-by-step proteolysis and the possibility of their further cultivation. Multicolour flow cytometry was used to evaluate the phenotype of the obtained cells and their viability.*

Research result. *We were isolated heterogeneous cells of the gastric mucosa with a high percentage of viability. During cultivation, the number of viable cells decreased slightly.*

Conclusion. *We obtained a primary viable culture of gastric epithelial cells, which allows us to conclude that the presented method of isolation is suitable for obtaining viable cells.*

Keywords: *primary cell culture; epithelial cells of the stomach; cultivation of cells*

For citation. *Peretyat'ko O.V., Belenyuk V.D., Moskalenko O.L. Possibilities of Isolation and Cultivation of Gastric Epithelial Cells. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 237-244. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-237-244*

Клетки эпителия обуславливают основную функциональную роль многих тканей в организме. Пространственное расположение эпителиальной ткани подразумевает выполнение в первую очередь барьерной, обменных и секреторных функций. В связи с этим, данные клетки привлекают внимание многих исследователей, в особенности в последнее время. Имея повышенный индекс пролиферации и дифференцировки, эпителиоциты являются достаточно популярными моделями среди клеточных культур [1, с. 791]. Эпителиальные клетки тесно связаны между собой *in vivo* и очень хорошо подходят для монослойных клеточных культур.

Исследование эпителиоцитов желудка культуральным методом ведется достаточно давно. Так, сообщалось о нескольких методах выделения эпителиоцитов у животных для последующего культивирования [2, с. 135-141]. Клетки слизистой оболочки желудка хорошо подходят для исследований *in vitro* в оценке метаболизма, взаимодействия с окружающей средой, фармакологического воздействия, реконструктивной биоинженерии и т.д.

На сегодняшний день отсутствует клеточная линия нормальных и раковых эпителиоцитов слизистой оболочки желудка, в связи с чем, изучение данных клеток опирается в основном на выделение первичных клеточных культур. Однако, выделение и культивирование клеток слизистой оболочки желудка, в частности у человека, остается весьма затруднительным [3,

с. 12-15]. Особую роль в культивировании первичных эпителиоцитов желудка играет выделение одиночных клеток с наибольшим пролиферативным потенциалом [4, с. 71-85]. Для достижения данного обстоятельства, некоторыми исследователями предложена методика мягкого ферментативного переваривания тканевого биоптата [5, с. 115-121].

Цель работы: Получить первичную культуру клеток слизистой оболочки желудка и оценить её фенотипические и метаболические характеристики.

Материалы и методы

Забор биологического материала производился на базе лечебно-диагностического отделения НИИ МПС. Обследовались пациенты в возрасте 30–60 лет (средний возраст пациентов составил 46 лет). Из исследования были исключены пациенты, с онкологическими заболеваниями, диагностированными респираторными заболеваниями, а также эндоскопическими патологиями и признаками инфицирования *H. pilory*. Все исследования выполнены с информированного согласия испытуемых и в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2000 г. и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными Приказом Минздрава РФ от 19.06.2003 г. № 266.

В ходе фиброгастроуденоскопического метода обследования в асептических условиях у 3 пациентов производился забор биоптатов слизистой оболочки желудка. Отобранные образцы немедленно погружались в пробирку типа эппендорф с транспортной средой на основе RPMI-1640. Время от забора биоптата до момента начала выделения не превышало 1,5 часов. На первом этапе образцы тщательно измельчались после чего трижды отмывались при 100 г в течение 3 мин в среде RPMI 1640 с гентамицином в концентрации 10 мкг/мл. После приступали к избирательному ферментативному протеолизу тканей, для этого к образцу добавляли коллагеназу II типа в расчете 30 Ед/мл и помещали в термостат при 37°C с постоянным перемешиванием на 10 минут. После образец тщательно ресуспендировался и осаждался в течение 5 мин. при 200 г и 4°C. Супернатант отбирался в отдельную пробирку. Осадок подвергался повторному протеолизу по описанной схеме. Цикл повторялся 7-8 раз до полного протеолиза гастробиоптата. Слитые супернатанты трижды отмывались раствором PBS pH 7,4. Полученный материал ресуспендировался в первичной культуральной среде (ПКС) на основе RPMI 1640 с добавлением

гентамицина 10 мкг/мл и 8% фетальной бычьей сыворотки. В дальнейшем, клетки помещались в культуральные планшеты из расчета $1,5 \times 10^5$ клеток/см² и помещались в CO₂ инкубатор при 37°C на 24 часа. По прошествии суток, планшеты промывались подогретым раствором PBS pH 7,4. После чего, добавлялась обновлённая ПКС и вновь помещалась в CO₂ инкубатор 37°C еще на 48 часов. По прошествии инкубации клетки снимались с поверхности планшетов раствором Версена при 4°C, трижды отмывались раствором PBS pH 7,4 и подсчитывались в камере Горяева.

Полученные культуры клеток анализировались методом проточной цитометрии с использованием прямой трехцветной иммунофлуоресценции и применением моноклональных антител (Beckman Coulter, USA). Использовали следующие антитела: CD326-FITC, 7AAD-PC5, CD45-APC7. Пробоподготовку осуществляли по стандартной методике. Анализ окрашенных клеток проводили на проточном цитофлуориметре Navios (Beckman Coulter, USA). В каждой пробе анализировали не менее 20000 клеток. Дальнейший анализ данных производился в пакете программ Kaluza 2.0 (Beckman Coulter, USA).

Результаты и обсуждение

В ходе нашего исследования были получены гетерогенные популяции эпителиальных клеток слизистой оболочки желудка, в количестве обеспечивающим пролиферативный ответ в контролируемых условиях *in vitro*. Было показано, что после этапа выделения по описанной технологии процент живых клеток составил 80-95% (в среднем 92,6%), что, учитывая сложности выделения и культивирования клеток слизистой оболочки желудка, считается высокими показателями (Рис. 1 – а). В рамках пула живых клеток было проведено исследование процента эпителиальных клеток на основе флуоресценции CD326. В результате было выявлено, что на момент выделения процент данных клеток составляет 65-80% (в среднем 72,3%) (Рис.1 – б). Процент клеток, несущих панлейкоцитарный маркер CD45, не превышал 0,5-2,2% (в среднем 0,8%), что указывает на практически полное отсутствие в просвете прилегающих к слою слизистой ткани капилляров иммунологических клеток.

По прошествии 72 часовой инкубации клеток в контролируемых условиях *in vitro*, было показано, что процент живых клеток составил 63-76% (в среднем 70,6%), что, указывает на постепенную гибель некоторых популяций клеток, полученных в процессе выделения (Рис.2 – а). В тоже время нужно помнить, что при избытке в ПКС продуктов клеточного рас-

пада, высока вероятность запуска процессов массовой клеточной гибели, как следствие становится крайне важен постоянный мониторинг за состоянием культуры.

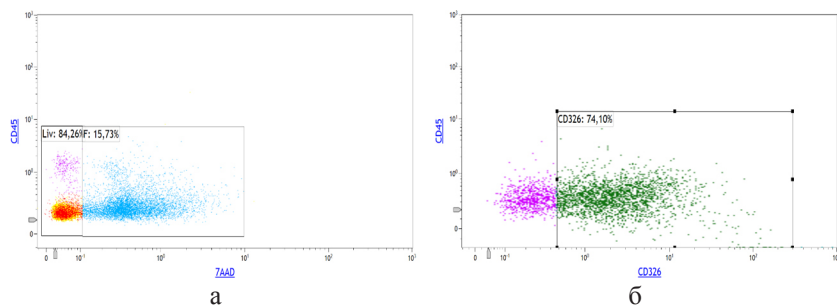


Рис. 1. а – гейтирование на основе соотношения 7AAD и CD45, определяющее процент живых клеток; б – гейтирование на основе соотношения CD326 и CD45, определяющее процентное содержание клеток, несущих эпителиальный маркер CD326

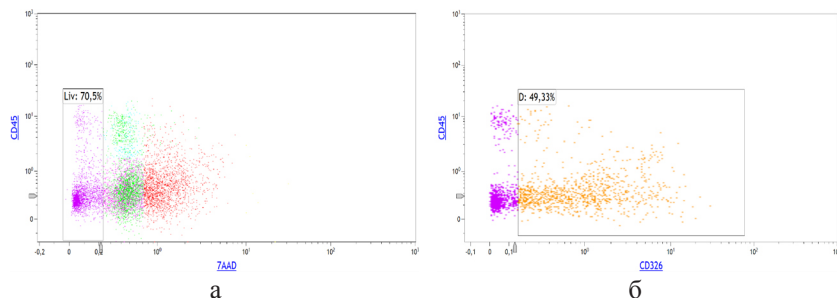


Рис. 2. а – гейтирование на основе соотношения 7AAD и CD45, определяющее процент живых клеток; б- гейтирование на основе соотношения CD326 и CD45, определяющее процентное содержание клеток, несущих эпителиальный маркер CD326

В рамках пула живых клеток было проведено исследования процента эпителиальных клеток на основе флюоресценции CD326, в результате было выявлено, что к 72 часам процент данных клеток снизился до 40-55% (в среднем 47,5%), что, указывает на снижение количества рецепторов к CD326 представленных на поверхности клеточной мембраны (Рис.2 – б). Данный процесс можно объяснить изменением метаболических процессов в клетке на фоне длительной инкубации в условиях отсутствия в ПКС специфического цитокинового микроокружения. Процент клеток, несущих

щих панлейкоцитарный маркер CD45, так же снизился и достиг 0,2-0,7% (в среднем 0,4%), данная картина вызвана особенностями формирования эпителиальными клетками монослоя на дне культуральных планшетов и возникающей на этом фоне конкуренцией. При инкубации сверх 1,5-2 недель в контролируемых условиях *in vitro* должна сформироваться монокультура клеток, составляющих превалирующую популяцию.

Заключение

По результатам исследования было доказано, что, несмотря на имеющиеся трудности в плане выделения и длительного культивирования клеток слизистой оболочки желудка, постепенное формирование обобщенной монокультуры вполне возможно. Приведенная процедура многократного протеолиза гастробиоптата, показала свою пригодность для получения жизнеспособных клеток слизистого слоя. В тоже время, при должном контроле процессов пролиферации выделенных клеток с применением методов микроскопии и проточной цитометрии, становится возможно своевременно реагировать на изменение процессов, протекающих в культуре исследуемых клеток. Было показано, что при наличии в культуре, большого количества клеток иммунной системы, повышается риск апоптотических реакций и как следствие гибели всей линии. Таким образом, важным аспектом становится амортизация методов изоляции клеточного материала из гастробиоптатов, а также подбор условий для инкубации клеток *in vitro*, при которых станет возможно в кратчайшие сроки сформировать монокультуру клеток, что в свою очередь позволит повысить эффективность пролиферативного ответа целевой популяции.

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

Информация о спонсорстве. Участие в прохождении стажировки «Методы культивирования и анализа клеточных культур» проведено при поддержке Красноярского краевого фонда науки.

Список литературы

1. Фрешни Р. Я. Культура животных клеток: практическое руководство. М.: Лаборатория знаний, 2018. 791 с.
2. Kinoshita Y., Hassan S., Nakata H., Asahara M., Matsushima Y., Kawanami C., Ping C.Y., Min D., Nakamura A., Chiba T. Establishment of primary epitheli-

- al cell culture from elutriated rat gastric mucosal cells // *J Gastroenterol.*, 1995, vol. 30, no. 2, pp. 135-41. <https://doi.org/10.1007/bf02348656>
3. Moyer M.P. Culture of human gastrointestinal epithelial cells // *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 1983, vol. 174, no. 1, pp. 12-15. <https://doi.org/10.3181/00379727-174-1-rc1>
 4. Kedinger M., Haffen K., Simon-Assmann P. Intestinal tissue and cell cultures // *Differentiation*, 1987, vol. 36, no. 1, pp. 71-85. <https://doi.org/10.1111/j.1432-0436.1987.tb00182.x>
 5. Qin J., Pei X. Isolation of Human Gastric Epithelial Cells from Gastric Surgical Tissue and Gastric Biopsies for Primary Culture // In: Baratta M. (eds) *Epithelial Cell Culture. Methods in Molecular Biology*, 2018, vol. 1817. Humana Press, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8600-2_12

References

1. Freshny R.Ya. *Kul'tura zhivotnykh kletok: prakticheskoe rukovodstvo* [Animal cell culture: a practical guide]. M.: Laboratory of Knowledge, 2018. 791 p.
2. Kinoshita Y., Hassan S., Nakata H., Asahara M., Matsushima Y., Kawanami C., Ping C.Y., Min D., Nakamura A., Chiba T. Establishment of primary epithelial cell culture from elutriated rat gastric mucosal cells. *J Gastroenterol.*, 1995, vol. 30, no. 2, pp. 135-41. <https://doi.org/10.1007/bf02348656>
3. Moyer M.P. Culture of human gastrointestinal epithelial cells. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 1983, vol. 174, no. 1, pp. 12-15. <https://doi.org/10.3181/00379727-174-1-rc1>
4. Kedinger M., Haffen K., Simon-Assmann P. Intestinal tissue and cell cultures. *Differentiation*, 1987, vol. 36, no. 1, pp. 71-85. <https://doi.org/10.1111/j.1432-0436.1987.tb00182.x>
5. Qin J., Pei X. Isolation of Human Gastric Epithelial Cells from Gastric Surgical Tissue and Gastric Biopsies for Primary Culture. In: Baratta M. (eds) *Epithelial Cell Culture. Methods in Molecular Biology*, 2018, vol. 1817. Humana Press, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8600-2_12

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Перетьяко Ольга Викторовна, научный сотрудник, канд. биол. наук
*Научно-исследовательский институт медицинских проблем Севера
ФИЦ КНЦ СО РАН*
ул. Партизана Железняка, 3г, г. Красноярск, 660022, Российская
Федерация
peretyatkooolga@mail.ru

Беленюк Василий Дмитриевич, младший научный сотрудник

*Научно-исследовательский институт медицинских проблем Севера
ФИЦ КНЦ СО РАН*

*ул. Партизана Железняка, 3г, г. Красноярск, 660022, Российская
Федерация
dyh.88@mail.ru*

Москаленко Ольга Леонидовна, старший научный сотрудник, канд.
биол. наук

*Научно-исследовательский институт медицинских проблем Севера
ФИЦ КНЦ СО РАН*

*ул. Партизана Железняка, 3г, г. Красноярск, 660022, Российская
Федерация
gre-ll@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Olga V. Peretyat'ko, Research Fellow, Cand. Sc. (Biology)

*Scientific Research Institute for Medical Problems of the North
FRC KSC SB RAS*

*3g, Partizan Zheleznyak Str., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation
peretyatkooolga@mail.ru*

ORCID: 0000-0003-1142-3933

SPIN-code: 3723-2874

Vasiliy D. Belenyuk, Research Assistant

*Scientific Research Institute for Medical Problems of the North
FRC KSC SB RAS*

*3g, Partizan Zheleznyak Str., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation
dyh.88@mail.ru*

ORCID: 0000-0003-2848-0846

SPIN-code: 6195-6630

Olga L. Moskalenko, Senior Researcher, Cand. Sc. (Biology)

*Scientific Research Institute for Medical Problems of the North
FRC KSC SB RAS*

*3g, Partizan Zheleznyak Str., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation
gre-ll@mail.ru*

ORCID: 0000-0003-4268-6568

SPIN-code: 9730-6265

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

INTERDISCIPLINARY RESEARCH

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-245-261

UDC 661.183.123.3

CALCULATION OF ION EXCHANGE COLUMN FOR PURIFYING OF LITHIUM HYDROXIDE SOLUTION FROM CHLORINE ANIONS

*A.B. Golovanchikov, O.A. Zalipaeva,
T.N. Sinenko, N.A. Prokhorenko*

In the article possibility of water solution LiOH tertiary treatment from chlorine anions after electrolysis is viewed. Analyzing the existing purification methods, it is proposed to use the purification of lithium hydroxide in an ion exchange column. A mathematical model and a computational algorithm for ion exchange column having stationary and moving anionite layers AB-17-08 in OH-form are given. Relationships of the main parameters such as working cycle period, usage ratio of ionite exchange volume and specific ratio of solution being purified per 1 kg ionite for standard column have been received. The curves of the chlorine anions density in ionite depending on its layer height in the solution being purified in the middle and at the end of the working cycle period are given. In the article recommendations on prevention of ionite granules abrasion during the operation in ion exchange columns are given.

Keywords: *anionite in OH-form; lithium hydroxide solution; ion exchange; Langmuir equation; mass transfer; mass exchange; working cycle period*

For citation. *Golovanchikov A.B., Zalipaeva O.A., Sinenko T.N., Prokhorenko N.A. Calculation of Ion Exchange Column for Purifying of Lithium Hydroxide Solution from Chlorine Anions. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 245-261. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-245-261*

РАСЧЕТ ИОНООБМЕННОЙ КОЛОННЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ РАСТВОРА ГИДРОКСИДА ЛИТИЯ ОТ АНИОНОВ ХЛОРА

*А.Б. Голованчиков, О.А. Залипаева,
Т.Н. Синенко, Н.А. Прохоренко*

Рассмотрена возможность доочистки водного раствора LiOH от анионов хлора после электролиза. При анализе существующих методов очистки предложено использовать очистку гидроксида лития в ионообменной колонне. Составлена математическая модель и алгоритм расчета ионообменной колонны с неподвижным и движущимся слоем анионита АВ-17-08 в ОН-форме. Получены зависимости основных параметров: времени рабочего цикла, степени использования обменной емкости ионита и удельного объема очищаемого раствора на 1 кг ионита для стандартной колонны. Получены и проанализированы графики зависимости концентрации анионов хлора в ионите от высоты его слоя в очищаемом растворе в середине и в конце времени рабочего цикла. Даются рекомендации по предотвращению истирания гранул ионита во время эксплуатации ионообменных колонн.

Ключевые слова: *анионит в ОН-форме; раствор LiOH; ионообмен, уравнение Ленгмюра; массоотдача и массопередача, рабочее время цикла*

Для цитирования. *Голованчиков А.Б., Залипаева О.А., Синенко Т.Н., Прохоренко Н.А. Расчет ионообменной колонны для очистки раствора гидроксида лития от анионов хлора // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 2. С. 245-261. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-245-261*

Introduction

Being a polymerization catalyst, lithium hydroxide is used in the production of batteries and in pharmacology for the synthesis of various lithium salts, which are used to treat animals and humans. Lithium hydroxide is used as a carbon dioxide absorber. The results of direct measurements confirming the greenhouse effect increasing caused by the concentration of carbon dioxide rise in the atmosphere are known [16]. The largest sources of emissions of greenhouse gas are agriculture, various production, transportation, processing and consumption of fossil fuels, burning of biomass, etc. The absorption of carbon dioxide and its further use is necessary to preserve the natural balance [20].

A lot of works are devoted to the problems of lithium hydroxide purification and regeneration. Authors of a number of articles [15, 18, 19] consider the problem of LiOH production through electro dialysis from its natural brine. Energy consumption of electro dialyzer is rather high and current consumption in the purification process of lithium hydroxide solution requires special operation safety rules. Current provides water electrolysis. Oxygen is emitted on the anode and hydrogen is emitted on the cathode. The process is of special fire and explosion hazards. Danger of emergencies and accidents, explosions and fires is high, they can occur in case of a technological condition violation, in case of electrolytic gas leakages, especially hydrogen and oxygen being mixed in explosive proportions inside units of equipment.

Ion exchange membranes used in electro dialysis have high current resistance. Membranes, containing ionite powder heterogeneous with surface impurity, need cleaning. Moreover the membrane cleaning is rather complicated and expensive process. It needs additional expenditure. Homogenous membranes have low mechanical strength [8]. Membranes selectivity falls because of their sensitivity to abrasive materials. When ion exchange membrane is used, a concentrated polarization takes place near its active layer. It makes membrane selectivity lower too. Field of application of ion exchange membranes is limited and application of nanotechnologies is predicted to enforce the strength of the membranes [6]. To prevent pollution of membranes LiOH solution should be purified from weighted and colloidal particles. In this connection electro dialysis is used in low capacity industries.

Scientists are seeking new technologies for lithium extraction from brines [17]. In our opinion it is necessary to pay more attention to the purification of the LiOH solution in ion exchange columns. Ion exchange columns have high productivity. LiOH purification in ion exchange columns doesn't need additional expenditure for previous clearing of solution and current.

According to the organizational and technical structure, ion exchange columns of continuous and periodic action are used in industry. The calculation methods of the columns are analogous to the calculation methods of other mass transfer devices [11-14].

An industrial method for obtaining an aqueous solution of sodium hydroxide by electrolysis of a solution of table salt is widely used and it becomes necessary to refine the obtained hydroxides from chlorine anions [9, 10].

Producing lithium hydroxide from LiCl solution by means of electrolytic method results in obtaining substance which contains up to $2,5 \text{ kg/m}^3$ of chlorine anions. The chlorine anions concentration is to be reduced to $0,078 \text{ kg/m}^3$

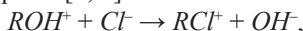
that is 32 times less in accordance with regulations. In this case level of tertiary treatment is to be around 97%.

Purpose

Aim of this work is modeling and calculation for ion exchange column both periodic and uninterrupted actions intended for purification lithium hydroxide water solution from chlorine anions.

Calculation methods for ion exchange column

It is appropriate to use anionite granules AB-17-08 in OH – form for the both ion exchange columns of the uninterrupted and periodic action. In this case exchange reaction takes place [7, 8]



and ions of chlorine are removed from the solution. Then they are substituted with ions OH produced through electrolysis. Thus ions of chlorine are not just removed from the solution but ions of OH are inserted instead of them. It slightly contributes to the electrolysis substance LiOH in desired solution.

In the article algorithm for calculation of ion exchange column with stationary anionite layer is used, which we've described for cation and anion columns in a number of works [3, 5, 6]. The physical picture of the change in its concentration is given on the Fig. 1.

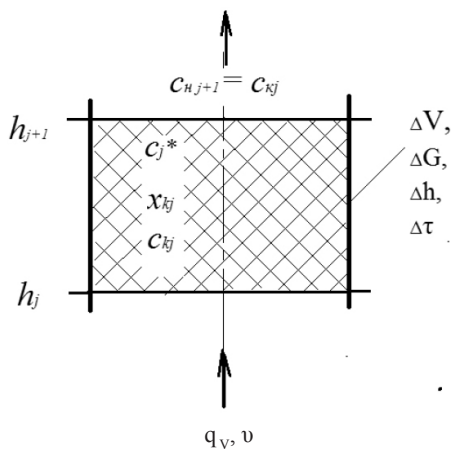


Fig. 1. Diagram of changes in ions of chlorine concentration at the moment τ_i in j -m ionite layer at height Δh and time $\Delta \tau$, for which solution passes through the ionite layer in the column of periodic action.

Algorithm for calculating an ion exchange column with a stationary anionite layer.

1. Equation of equilibration line (signs for parameters and their size are given in Table 1 [7]):

$$x^* = \frac{ac}{1 + bc^2} \quad (1)$$

under the conditions $a = \frac{\kappa_p x_0}{c_n}$, $b = \frac{\kappa_p - 1}{c_n}$ и $x_0 = x_n^*$.

2. Sherwood number of the outer mass transfer for the solution is viewed as a function of defining Reynolds and Schmidt criteria:

$$Sh = 2 + 1,5(Sc)^{1/3} \sqrt{(1 - \varepsilon_0) Re}. \quad (2)$$

3. Surface coefficient of outer mass transfer

$$\beta_c = \frac{Sh \cdot D_c}{d_s}, \quad (3)$$

and volume coefficient of mass exchange

$$k_V = \frac{6\beta_c(1 - \varepsilon_0)}{d_s}. \quad (4)$$

4. Dividing the whole ionite layer n -equal in height parts Δh (Fig. 1) in accordance with mass exchange equation for the ions being extracted in layer having thickness Δh at a height $h_j(j, n)$

$$q_V \cdot c_{ij} \cdot \Delta\tau = q_V \cdot c_{kj} \cdot \Delta\tau + k_V \Delta V (c_{ij} - c_j^*) \Delta h / v, \quad (5)$$

you ought to find out the concentration c_{ij} for the calculated moment of each layer Δh .

5. Final concentration of the extracted ions of chlorine in ionite for the layer h_j at the moment τ_i can be determined in accordance with material balance

$$x_{sj} = x_{ij} + \frac{q_V}{3600\Delta G} (c_{ij} - c_{sj}). \quad (6)$$

6. Using equation of equilibration line (1) we find equilibrium concentration

$$c_j^* = \frac{x_{ij}}{a - b \cdot x_{ij}}, \quad (7)$$

under the conditions $c_j^* \geq c_{ij}$ at the moment τ_i and the ionite layer(s) j loses its ability to exchange ions and after that it functions as a filter.

7. The calculations are finished under the condition $c_{\kappa j=n} \geq c_\kappa$.

Algorithm for calculation of the ion exchange column of the uninterrupted action

1. Concentration of chlorine ions in ionite at the exit

$$x_\kappa = 0,99 x_n^*. \quad (8)$$

2 Ionite consumption

$$G = q_V \frac{c_n - c_k}{x_k - x_n} \quad (9)$$

3. Calculation of transference units number (*TUN*)

$$TUN = \sum_{i=1}^m \frac{\Delta c}{c - c^*} \quad (10)$$

4. Height of the moving ionite layer

$$H = (v \cdot TUN) / k_V \quad (11)$$

5. Volume of the moving ionite layer

$$V = \frac{\pi D^2 H}{4} \quad (12)$$

6. Average time of ionite existence in the column

$$\tau = \frac{V \rho_H}{G} \quad (13)$$

7. Speed of the ionite movement from top to bottom of the column

$$U = \frac{H}{3600 \cdot \tau} \quad (14)$$

8. Specific consumption of ionite for 1 m³ of solution being purified

$$y = q_V / G \quad (15)$$

9. Calculation of chlorine ions profiles (on height) for the solution being purified and in ionite

a) $\Delta h = H/m,$

b) $c_1 = c_n, x_1 = x_n,$

c) $c_{p1} = x_1 / (a_2 - b_2 x_1),$

d) $c_2 = c_1 (1 - k_V \cdot \Delta h / v) + (k_V \cdot \Delta h / v) c_1^*,$

e) $x_2 = x_k - (q_V / G_V) (c_n - c_2);$

f) readdressing: $x_1 = x_2, c_1 = c_2$ and repeating «m» - times of items (b-f) and corresponding concentrations accordingly;

g) calculations are over after «m» - times repetitions.

Results of calculations and discussion of the results

Shown in Fig. 2 profiles of chlorine ions concentrations in the solution (a) and in ionite (b) according to ionite layer height in the middle ($\tau = 4$ hours) and at the end of the working cycle period ($\tau = 8$ hours) for the column with 1m diameter with stationary ionite layer (curves 1 and 2) and with moving ionite layer (curves 3) are given.

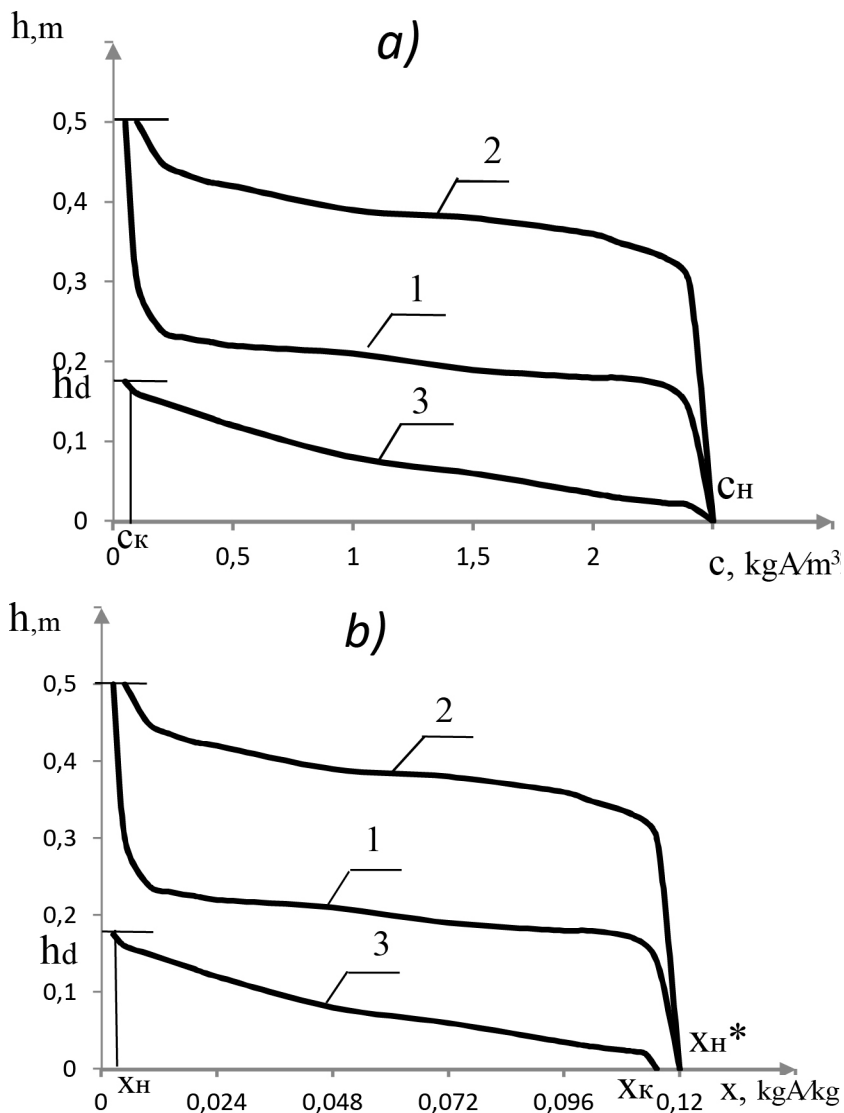


Fig. 2. Drawings of chlorine ions concentrations in the solution (a) and in a layer of grains (b) at the height of ionite: 1 – in four hours after the working cycle beginning; 2 – in eight hours at the end of the working cycle; 3 – in the antiflow ion exchange column of uninterrupted action.

Table 1.

Initial and reference data, calculation parameters

№	Parameter	Value
	<u>Initial data</u>	
1	Productivity on the solution being purified, q_p , m ³ /h	1
2	Initial concentration of chlorine anions in the solution, c_p , kg/ m ³	2,5
3	Final acceptable concentration of chlorine anions in the solution, c_c , kg/ m ³	$7,8 \cdot 10^{-2}$
4	Pressure, P , atm.	1,033
5	Temperature, t , °C	30
6	Solution density, ρ_W , kg/ m ³	1280
7	Solution viscosity, μ , P/sec	0,055
8	Coefficient of chlorine anions diffusion in the solid, D_c , m ² /sec.	$1,6 \cdot 10^{-9}$
9	Constant of anionite equilibrium at 30°C, k_p	1,2
10	Equivalent diameter of anionite particles, d_a , m	$6 \cdot 10^{-4}$
11	Full anionite exchange tank AB-17-8, x_0^* , kgA/ kg	1,725
12	Ion mass Cl , M , kg/ kmole	35,5
13	Specific volume of dry anionite, v_p , m ³ /kg	$3 \cdot 10^{-3}$
14	The particles density filling, ρ_p , kg/ m ³	340
15	Coefficient of chlorine anions diffusion in the ionite particles, D_u , m ² /sec	$2,9 \cdot 10^{-10}$
16	Particle layer porousness, ε_0	0,4
17	Height of the layer H , m	0,7
18	Column diameter D , m	1
	<u>Calculation parameters for the column of periodic action</u>	
1	Fictitious solution speed v , m/sec	$3,54 \cdot 10^{-4}$
2	Reynold's number, Re	$4,94 \cdot 10^{-3}$
3	Schmidt number, Sc	26855
4	Sherwood number, Sh	4,44
5	Coefficient of outer surface mass transference, β_c , m/sec	$1,18 \cdot 10^{-5}$
6	Volume coefficient of mass exchange, k_p , 1/sec	$7,1 \cdot 10^{-2}$
7	Constant of equilibration line (1) a and b correspondingly, m ³ /kg	$5,76 \cdot 10^{-2}$ $8 \cdot 10^{-2}$
8	Equilibrium concentration in ionite corresponding to the initial concentration of ions of chlorine in the solution, x_u^* , kgA/ kg	0,12
9	Equilibrium concentration in ionite corresponding to the finite concentration of ions of chlorine in the solution, x_u^* , kgA/ kg	$4,465 \cdot 10^{-3}$
10	The initial concentration of ions of chlorine in ionite after regeneration, x_u , kgA/ kg	$3,795 \cdot 10^{-3}$

Continuation of the table

11	Volume of ionite layer, V_c , m ³	0,3925
12	Mass of ionite layer, M_c , kg	218,06
13	Maximum ionite particles absorption of chlorine ions, M_{μ} , kgA	25,34
14	Maximum working cycle period, τ_m , hour	10,46
15	Working cycle period, τ , hour	7,99
16	Specific consumption of ionite for 1 m ³ of solution being purified, y_m , m ³ /kg	0,0367
<u>Calculation parameters for the column of the uninterrupted action</u>		
1	Concentration of chlorine ions in ionite at the exit from the column, x_2 , kgA/ kg	$1,188 \cdot 10^{-1}$
2	Ionite consumption, G , kgA/ hour	21,06
3	Transference units number, TUN	33,95
4	Ionite volume in the column, V , m ³	0,133
5	Height of the moving ionite layer, h , m	0,169
6	Initial concentration of chlorine ions in ionite after regeneration, x_n , kgA/ kg	$3,795 \cdot 10^{-3}$
7	Time of ionite movement in the column, τ_2 , hour	2,144
8	Speed of ionite movement in the column, U , m/sec	$2,19 \cdot 10^{-5}$
9	Specific consumption of ionite for 1 m ³ of the solution being purified, y , m ³ /kg	0,0475

According to the graphs of the drawing the height of the moving layer of ionite in the column of the periodic action (curves 1 and 2) doesn't go over $\frac{1}{2}$ of its whole layer height. The rest part of its height is either saturated fully (i.e. it is in a dynamical equilibrium relative to the initial concentration of chlorine ions being trapped in the solution) or it doesn't participate in the ion exchange process. It is evident that the curves 1a and 1b correspond to the concentration of ions of chlorine in the middle of the working cycle period ($\tau=4$ hours). 100 mm ionite layer has been used at the entrance. Ionite at height 100÷300mm participates in ion exchange process and the upper 200 mm of the ionite layer aren't involved in the process. At the end of the working cycle period ($\tau=8$ hours) the upper layer of ionite with height 200 mm participates in ion exchange. The lowest part of the layer (300 mm) is saturated with ions of chlorine so it doesn't participate in the ion exchange process.

In the moving layer of ionite column of uninterrupted action in the ion exchange process participates only active layer having height $H_x=170mm$ (Fig.2, curves 3a and 3b). Its height is less than height of the active layer of ionite with stationary layer (200 mm). The hydraulic resistance of stationary layer of ionite

($H=300\text{ mm}$) is almost 3 times increase than the height of the layer of ionite in the ion exchange column of the periodic activity. $2/3$ of its height doesn't participate in ion exchange and the solution is not filtered through it. Moreover, efficiency of ion exchange column of uninterrupted action is 30% superior to efficiency of the column working periodically (the last lines of Table 1). It is derived from the fact that usage of the exchange capacity of the lower ionite layers in column of periodic action equals 100%, that is $x_k = x_n^* = 0,12$ and in column of uninterrupted action it equals $x_k = 0,1188$ (Fig. 2b).

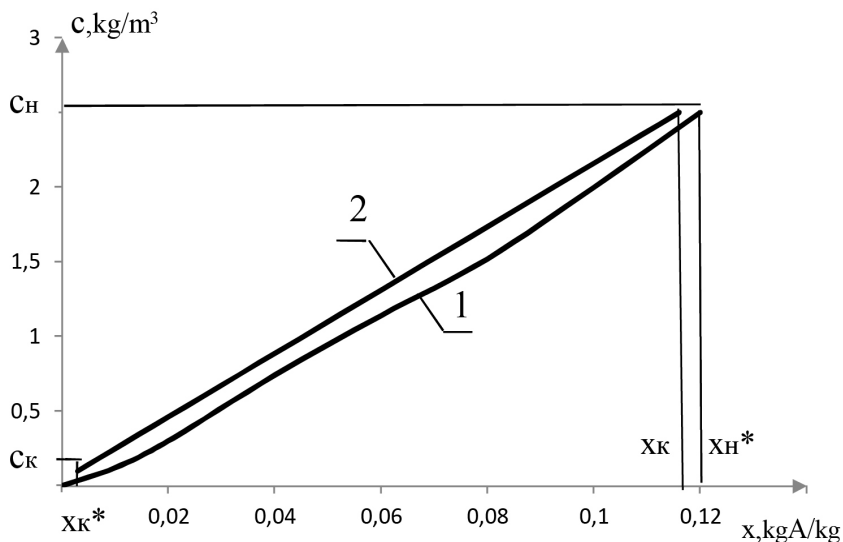


Fig. 3. Equilibrium (1) and working (2) lines of the ion exchange process in the column of uninterrupted action (calculation results, Table 1).

Significant disadvantage of the moving ionite layer is that the process is to be implemented in a unit of equipment with boiling layer [2, 4]. The disadvantage of globules and grains attrition can be avoided. The globules and grains should be coated with textile material. In this case attrition resistance will be twice higher (in accordance with experimental data).

Conclusion

Analysis of existing methods of LiOH water solution tertiary treatment from chlorine anions has been made. It is suggested to purify LiOH in ion exchange column. Calculations of ion exchange columns of periodic action and of un-

interrupted action showed the advantages of the latter one. It is explained to a greater degree with the usage of the exchange capacity of the ionite. In the process the hydraulic resistance of the moving ionite layer is 3 times less than that of the stationary layer. It proportionally leads to energy savings. Graphs of the dependence of the chlorine anion concentration in ionite at height of its layer are given. It is recommended to prevent attrition of ionite granules in ion exchange columns during the operation with coating of each globule with thinned textile or knitted material. It reduces the attrition of the globules and increases their operation by more than an order.

The study was funded by RFBR, project number 19-38-90002.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-38-90002.

References

1. Volkov V. V., Mchedlishvili B. V., Roldugin V. I., Ivanchev S. S., Yaroslavtsev A. B. Membrany i nanotekhnologii [Membranes and nanotechnologies]. *Rossiyskie nanotekhnologii* [Russian nanotechnologies], 2008, vol. 3, no. 11-12, pp. 67-99. <http://www.memtech.ru/index.php/ru/glavnaya/publications/98-membrany-i-nanotekhnologii>
2. Golovanchikov A. B., Dobryakov A. V., Efremov M. Yu., Belyaeva Yu. L., Karaeva A. E., Dul'kin B. A. Patent №2361662 RF Adsorbent dlya ochistki gazov i zhidkostey ot vrednykh primesey [Adsorbent for purifying of gases and liquids from hazardous admixtures], 2009.
3. Golovanchikov A. B., Efremov M. Yu., Dul'kina N. A. Odnovremennaya ionoobmennaya ochistka vody ot ionov zhestkosti i zheleza [Simultaneous ion exchange water purification from hardness and iron ions]. *Ekologicheskie sistemy i pribory* [Ecological systems and apparatuses], 2011, no. №3, pp. 24-28. <http://eco.tgizd.ru/ru/arhiv/169>
4. Golovanchikov A. B., Tkhi Tkhyui Zyong Le, Tkhi Tkhan' Van Le «Rubashka» dlya granul adsorbenta [Coating for adsorbent granules]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Research], 2008, №11. <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=3912>
5. Golovanchikov A. B., Shibitov N. S., Shibitova N. V., Aleksandrin D. R. Modelirovanie ionoobmennoy kolonny dlya ochistki rastvora gidroksida natriya ot ionov khloro [Modelling of ion exchange column for purifying of sodium hydroxide solution from chlorine ions]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta: Seriya «Aktual'nye problemy upravleniya*.

- vychislitel'noy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh*» [News of Volgograd State Technical University: Actual problems of management and computer science in technical systems], 2015, no. 2(157), pp. 15-18. <https://www.vstu.ru/uploadiblok/files/izvestiya/archive/2/2015-02.pdf>
6. Golovanchikov A. B., Shibitov N. S., Shibitova N. V., Novozhenin A. V. Ochistka shchelochnogo rastvora ot ionov khloro v massoobmennoy kolonne periodicheskogo deystviya [Purification of the alkaline solution from chlorine ions in a batch mass transfer column]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta: Seriya «Reologiya, protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii»* [Proceedings of the Volgograd State Technical University: Series “Rheology, Processes and apparatuses of Chemical Technology”], 2015, no. 1 (154), pp. 27-31. <http://www.vstu.ru/uploadiblok/files/izvestiya/archive/9/2015-01.pdf>
 7. Dytnerskiy Yu. I. *Protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii: uchebnik. Ch. 2: Massoobmennye protsessy i apparaty* [Processes and apparatuses for the chemical technology: textbook, Part 2, Mass exchange processes and apparatuses]. M.: Khimiya, 2002. 368 p.
 8. Radionov A. I., Klushin V. N. *Tekhnika zashchity okruzhayushchey sredy* [Technology of environment protection], 2nd edition. M.: Khimiya, 1989. 512 p.
 9. Furman A. A., Shtraybman S. S. *Prigotovlenie i ochistka rassola* [Preparation and purification of brine]. M.: Khimiya, 1966. 358 p.
 10. Yakimenko L. M., Pasmanik N. I. *Spravochnik po proizvodstvu khloro, kausticheskoy sody i osnovnykh khlorproduktov* [Reference book on production of chlorine, caustic soda and basic chlorine products]. M.: Khimiya, 1976, 437 p.
 11. Golovanchikov A. B., Zalipaeva O. A., Sinenko T. N., Shibitova N. V., Prokhorenko N. A., Cherikova K. V. Calculation of optimal flow of ionite during water treatment in the column of continuous action. *E3S Web of Conferences*. Vol. 161: International Conference on Efficient Production and Processing (ICEPP-2020) (Prague, Czech Republic, February 27-28, 2020), ed. by J. Smyatskaya. Publisher: EDP Sciences, 2020. 5 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016101084>
 12. Golovanchikov A. B., Zalipaeva O. A., Prokhorenko N. A., Shibitova N. V., Merentsov N. A. Equations of working lines in packed columns with regard to longitudinal diffusion. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1553: VI Int. Scientific and Practical Conf. «Virtual Simulation, Prototyping and Industrial Design 2019 (VSPID-2019)» (Tambov, Russia, 16-18 October, 2019). 7 p. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1553/1/012020>
 13. Golovanchikov A. B., Prokhorenko N. A., Shibitova N. V., Romanenko M. D., Zalipaeva O. A. Simulation of the process of rectification with the account of

- longitudinal diffusion. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1278: V International Scientific and Practical Conference «Virtual Simulation, Prototyping and Industrial Design 2018» VSPID 2018 (Tambov, Russian Federation, 14–16 November, 2018). Tambov State Technical University. 8 p. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1278/1/012027>
14. Golovanchikov A. B., Churikova V. I., Zalipaeva O. A. Calculation of a packed column for absorption of hydrogen sulfur from gases formed by separation of crude oil. *E3S Web of Conferences*. Vol. 126: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2019) (Sevastopol, Russia, September 9-13, 2019), ed. by S. Bratan. Publisher: EDP Sciences, 2019. 8 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912600070>
 15. Chenxiao Jiang, Yaoming Wang, Qiuyue Wang, Hongyan Feng, and Tongwen Xu*Production of Lithium Hydroxide from Lake Brines through Electro–Electrodialysis with Bipolar Membranes (EEDBM) / Laboratory of Functional Membranes, School of Chemistry and Material Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2014, 53(14), 6103–6112, <https://doi.org/10.1021/ie404334s>
 16. Hannah, L., P. R. Roehrdanz, P. A. Marquet, B. J. Enquist, G. Midgley, W. Foden, J. C. Lovett, R. Corlett, D. Corcoran, S. Butchart, B. Boyle, X. Feng, B. Maitner, J. Fajardo, B. J. McGill, C. Merow, N. Morueta-Holme, E. A. Newman, D. S. Park, J.-C. Svenning. 30% land conservation and climate action reduces tropical extinction risk by more than 50%. *Ecography*, 2020, vol. 43, no. 7, pp. 943-953. <https://doi.org/10.1111/ecog.05166>
 17. Victoria Flexer, Celso Fernando Baspineiro, Claudia Inés Galli, Lithium recovery from brines: A vital raw material for green energies with a potential environmental impact in its mining and processing. *Science of The Total Environment*, 2018, vol. 639, pp. 1188-1204. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.223>
 18. V. C. E. Romero, M. Tagliacuzzi, V. Flexer, E. J. Calvo, Sustainable electrochemical Extraction of Lithium from Natural Brine for Renewable Energy Storage. *Journal of The Electrochemical Society*, 2018, vol. 165, no. 10, pp. A2294-A2302. <https://doi.org/10.1149/2.0741810jes>
 19. Yunfeng Song, Zhongwei Zhao, Recovery of lithium from spent lithium-ion batteries using precipitation and electrodialysis techniques. *Separation and Purification Technology*, 2018, vol. 206, pp. 335-342. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.06.022>
 20. Record Complexity in the Polycatenation of Three Porous Hydrogen-Bonded Organic Frameworks with Stepwise Adsorption Behaviors Yu-Lin Li, Eugeny V.

Alexandrov, Qi Yin, Lan Li, Zhi-Bin Fang, Wenbing Yuan, Davide M. Proserpio, and Tian-Fu Liu. *Journal of the American Chemical Society*, 2020, vol. 142, no. 15, pp. 7218-7224. <https://doi.org/10.1021/jacs.0c02406>

Список литературы

1. Волков В. В., Мчедлишвили Б. В., Ролдугин В. И., Иванчев С. С., Ярославцев А. Б. Мембраны и нанотехнологии // Российские нанотехнологии. 2008. Т. 3, №11-12. С. 67-99. <http://www.memtech.ru/index.php/ru/glavnaya/publications/98-membrany-i-nanotekhnologii>
2. Голованчиков А. Б., Добряков А. В., Ефремов М. Ю., Беляева Ю. Л., Караева А. Э., Дулькин Б. А. Патент №2361662 РФ. Адсорбент для очистки газов и жидкостей от вредных примесей. 2009.
3. Голованчиков А. Б., Ефремов М. Ю., Дулькина Н. А. Одновременная ионообменная очистка воды от ионов жесткости и железа // Экологические системы и приборы. 2011. №3. С. 24-28. <http://eco.tgizd.ru/ru/arhiv/169>
4. Голованчиков А.Б., Тхи Тхюи Зьонг Ле, Тхи Тхань Ван Ле «Рубашка» для гранул адсорбента // Фундаментальные исследования. 2008. №11. <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=3912>
5. Голованчиков А. Б., Шибитов Н. С., Шибитова Н. В., Александрин Д. Р. Моделирование ионообменной колонны для очистки раствора гидроксида натрия от ионов хлора // Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления вычислительной техники и информатики в технических системах». 2015. №2(157). С. 15-18. <https://www.vstu.ru/uploadiblok/files/izvestiya/archive/2/2015-02.pdf>
6. Голованчиков А. Б., Шибитов Н. С., Шибитова Н. В., Новоженин А. В. Очистка щелочного раствора от ионов хлора в массообменной колонне периодического действия // Известия Волгоградского государственного технического университета: Серия «Реология, процессы и аппараты химической технологии». 2015. №1(154). С. 27-31. <http://www.vstu.ru/uploadiblok/files/izvestiya/archive/9/2015-01.pdf>
7. Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии: учебник. Ч. 2: Массообменные процессы и аппараты. М.: Химия, 2002. 368 с.
8. Радионов А. И. Клушин В. Н. Техника защиты окружающей среды 2-е изд. перераб и доп. М.: Химия, 1989. 512 с.
9. Фурман А. А., Штрайбман С. С. Приготовление и очистка рассола. М.: Химия, 1966. 358 с.

10. Якименко Л. М., Пасманик Н. И. Справочник по производству хлора, каустической соды и основных хлорпродуктов. М.: Химия, 1976. 437 с.
11. Golovanchikov A. B., Zalipaeva O. A., Sinenko T. N., Shibitova N. V., Prokhorenko N. A., Cherkova K. V. Calculation of optimal flow of ionite during water treatment in the column of continuous action // E3S Web of Conferences. Vol. 161: International Conference on Efficient Production and Processing (ICEPP-2020) (Prague, Czech Republic, February 27-28, 2020), ed. by J. Smyatskaya. Publisher: EDP Sciences, 2020. 5 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016101084>
12. Golovanchikov A. B., Zalipaeva O. A., Prokhorenko N. A., Shibitova N. V., Merentsov N. A. Equations of working lines in packed columns with regard to longitudinal diffusion // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1553: VI Int. Scientific and Practical Conf. «Virtual Simulation, Prototyping and Industrial Design 2019 (VSPID-2019)» (Tambov, Russia, 16-18 October, 2019). 7 p. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1553/1/012020>
13. Golovanchikov A. B., Prokhorenko N. A., Shibitova N. V., Romanenko M. D., Zalipaeva O. A. Simulation of the process of rectification with the account of longitudinal diffusion // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1278: V International Scientific and Practical Conference «Virtual Simulation, Prototyping and Industrial Design 2018» VSPID 2018 (Tambov, Russian Federation, 14–16 November, 2018). Tambov State Technical University. 8 p. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1278/1/012027>
14. Golovanchikov A. B., Churikova V. I., Zalipaeva O. A. Calculation of a packed column for absorption of hydrogen sulfur from gases formed by separation of crude oil // E3S Web of Conferences. Vol. 126: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2019) (Sevastopol, Russia, September 9-13, 2019), ed. by S. Bratan. Publisher: EDP Sciences, 2019. 8 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912600070>
15. Chenxiao Jiang, Yaoming Wang, Qiuyue Wang, Hongyan Feng, and Tongwen Xu*Production of Lithium Hydroxide from Lake Brines through Electro–Electrodialysis with Bipolar Membranes (EEDBM) / Laboratory of Functional Membranes, School of Chemistry and Material Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China // Ind. Eng. Chem. Res., 2014, vol. 53, no. 14, pp. 6103–6112. <https://doi.org/10.1021/ie404334s>
16. Hannah, L., P. R. Roehrdanz, P. A. Marquet, B. J. Enquist, G. Midgley, W. Foden, J. C. Lovett, R. Corlett, D. Corcoran, S. Butchart, B. Boyle, X. Feng, B. Maitner, J. Fajardo, B. J. McGill, C. Merow, N. Morueta-Holme, E. A.

- Newman, D. S. Park, J.-C. Svenning. 30% land conservation and climate action reduces tropical extinction risk by more than 50% // *Ecography*, 2020, vol. 43, no. 7, pp. 943-953. <https://doi.org/10.1111/ecog.05166>
17. Victoria Flexer, Celso Fernando Baspineiro, Claudia Inés Galli, Lithium recovery from brines: A vital raw material for green energies with a potential environmental impact in its mining and processing // *Science of The Total Environment*, 2018, vol. 639, pp. 1188-1204. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.223>
18. V. C. E. Romero, M. Tagliacruzchi, V. Flexer, E. J. Calvo, Sustainable electrochemical Extraction of Lithium from Natural Brine for Renewable Energy Storage // *Journal of The Electrochemical Society*, 2018, vol. 165, no. 10, pp. A2294-A2302. <https://doi.org/10.1149/2.0741810jes>
19. Yunfeng Song, Zhongwei Zhao, Recovery of lithium from spent lithium-ion batteries using precipitation and electro dialysis techniques // *Separation and Purification Technology*, 2018, vol. 206, pp. 335-342. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.06.022>
20. Record Complexity in the Polycatenation of Three Porous Hydrogen-Bonded Organic Frameworks with Stepwise Adsorption Behaviors Yu-Lin Li, Eugeny V. Alexandrov, Qi Yin, Lan Li, Zhi-Bin Fang, Wenbing Yuan, Davide M. Proserpio, and Tian-Fu Liu // *Journal of the American Chemical Society*, 2020, vol. 142, no. 15, pp. 7218-7224. <https://doi.org/10.1021/jacs.0c02406>

DATA ABOUT THE AUTHORS

Alexander B. Golovanchikov, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department “Processes and Apparatuses of Chemical and food production”
Volgograd State Technical University
28, Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation
pahp@vstu.ru

Olga A. Zalipaeva, Ph. D., Associate Professor of the Department “Processes and Apparatuses of Chemical and Food Production”
Volgograd State Technical University
28, Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation
zalipaevaolga@yandex.ru

Tatyana N. Sinenko, Ph. D., Associate Professor of the Department “Foreign Languages”
Volgograd State Technical University

*28, Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation
TNSinenko@mail.ru*

Natalia A. Prokhorenko, Senior lecturer of the Department “Processes and Apparatuses of Chemical and Food Production”
*Volgograd State Technical University
28, Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation
natasha292009@yandex.ru*

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Голованчиков Александр Борисович, д.т.н., профессор кафедры «Процессы и аппараты химических и пищевых производств»
*Волгоградский государственный технический университет
пр. Ленина, 28, г. Волгоград, 400005, Российская Федерация
pahp@vstu.ru*

Залипаева Ольга Александровна, к.т.н., доцент кафедры «Процессы и аппараты химических и пищевых производств»
*Волгоградский государственный технический университет
пр. Ленина, 28, г. Волгоград, 400005, Российская Федерация
zalipaevaolga@yandex.ru*

Синенко Татьяна Николаевна, к.п.н., доцент кафедры «Иностранные языки»
*Волгоградский государственный технический университет
пр. Ленина, 28, г. Волгоград, 400005, Российская Федерация
TNSinenko@mail.ru*

Прохоренко Наталья Андреевна, старший преподаватель кафедры «Процессы и аппараты химических и пищевых производств»
*Волгоградский государственный технический университет
пр. Ленина, 28, г. Волгоград, 400005, Российская Федерация
natasha292009@yandex.ru*

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-262-283

UDC 349.422.2

THE IMPACT OF HUMAN CAPITAL ON THE SUCCESS OF AN AGRICULTURAL COOPERATIVE (EXAMPLE OF 'ARLA FOODS')

*S.G. Golovina, I.N. Mikolaychik,
A.L. Poltarykhin, P.V. Zhuravlev*

The article presents the results of a theoretical and empirical study of the leading trends and the latest trends in the development of modern agricultural cooperatives (with an illustration of many years of experience and grandiose achievements in the activities of the world famous multinational dairy cooperative "Arla Foods"), due to various changes in the external environment (market, institutional, political, technological) and determining, as a result, significant changes in the requirements for the quality of human capital. Important scientific conclusions (according to the topic) were obtained on the basis of studying the dynamics of the formation and development of the Arla Foods cooperative, generalizing materials regarding its organizational transformations and mainly relate to (1) the importance of professional management for the success of the cooperative, (2) new requirements for the quality of human resources in connection with technological innovations (digitalization, for example), (3) the role of human capital available in cooperatives (its quality) in overcoming various threats and risks.

The theoretical and practical value of the study lies, firstly, in the (scientifically grounded) concept of a modern agricultural cooperative presented in the work (using the example of Arla Foods as one of its most prominent representatives), and secondly, in the characteristics of the human capital of agricultural cooperatives, adequate to the essence of the evolutionary processes taking place with them.

Keywords: *human capital; cooperation; agricultural cooperative; institutional environment; challenges and threats; organizational innovation*

For citation. *Golovina S.G., Mikolaychik I.N., Poltarykhin A.L., Zhuravlev P.V. The impact of human capital on the success of an agricultural cooperative (example of 'Arla Foods'). Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 262-283. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-262-283*

ВЛИЯНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА НА УСПЕХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО КООПЕРАТИВА (НА ПРИМЕРЕ «ARLA FOODS»)

*С.Г. Головина, И.Н. Миколайчик,
А.Л. Полтарыхин, П.В. Журавлев*

В статье представлены результаты теоретико-эмпирического исследования ведущих тенденций и новейших трендов в развитии современных сельскохозяйственных кооперативов (с иллюстрацией многолетнего опыта и грандиозных достижений в деятельности известного в мире многонационального молочного кооператива «Arla Foods»), обусловленных различными изменениями внешней среды (рыночной, институциональной, политической, технологической) и детерминирующих, как следствие, существенные перемены в требованиях к качеству человеческого капитала. Важные научные заключения (согласно теме) получены на основе изучения динамики становления и развития кооператива «Arla Foods», обобщения материалов относительно его организационных трансформаций и касаются главным образом (1) значимости профессионального менеджмента для успеха деятельности кооператива, (2) новых требований к качеству человеческих ресурсов в связи с технологическими инновациями (цифровизацией, к примеру), (3) роли имеющегося в кооперативах человеческого капитала (его качества) в преодолении различных угроз и рисков. Теоретическая и практическая ценность исследования заключается, во-первых, в представленной в работе (научно обоснованной) концепции современного сельскохозяйственного кооператива (на примере «Arla Foods» как одного из наиболее ярких его представителей), во-вторых, в характеристиках человеческого капитала аграрных кооперативов, адекватных сущности происходящих с ними эволюционных процессов.

Ключевые слова: *человеческий капитал; кооперация; сельскохозяйственный кооператив; институциональная среда; вызовы и угрозы; организационные инновации*

Для цитирования. Головина С.Г., Миколайчик И.Н., Полтарыхин А.Л., Журавлев П.В. Влияние человеческого капитала на успех деятельности сельскохозяйственного кооператива (на примере «Arla Foods») // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 2. С. 262-283. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-262-283

Introduction

The undoubted importance of agricultural cooperation for the successful functioning of farms (as well as agricultural entities of other organizational forms) in the context of rapid changes in their environment (market, political, technological) is comprehensively substantiated by economists and has been exhaustively proven by economic practice (Yu, et al., 2020; Morfi, et al., 218; Golovina, et al., 2019; Martinez et al., 2020).

In the Russian Federation, repeated attempts by the state to revive cooperation in agricultural production in general and in rural areas in particular, the measures taken to support functioning agricultural consumer cooperatives do not actually correlate (at least directly and closely) with the results of these initiatives, namely, they do not turn into rapid growth. cooperative organizations, neither in terms of their number, nor in terms of size and efficiency (Yanbykh, et al., 2019; Golovina, et al., 2020).

On the basis of analytical studies, it is possible to identify the most significant circumstances hindering the successful development of agricultural cooperatives, including (1) small size of organizations, insufficient to gain the economies of scale inherent in the cooperative (the main competitive advantage), and cooperatives are not oriented towards large business at all, (2) established informal institutions (low degree of readiness of agricultural producers for cooperation and cooperation; low level of their mutual trust), (3) formal institutions that fix in legislation and public consciousness a purely traditional cooperative model, (4) inconsistency in the quality of human capital incorporated into participants cooperation, the requirements that are presented, firstly, cooperative activity in general (based on the principles of solidarity, mutual assistance, democracy, trust), and secondly, its modern content (entrepreneurial direction ness, innovation, versatility) (Yanbykh, et al., 2019; Golovina, et al., 2020; Kurakin, et al., 2017; Yumashev et al., 2021). In general, the main reason for the slow development of cooperation in the domestic agrarian economy was the incorrect (outdated) conceptualization of the modern agricultural cooperative, as a result of which this organization appears not as a modern business structure capable of solving the economic and social problems of agricultural producers, but as a patriarchal artifact, which in the past it really demonstrated its effectiveness, but in the new (significantly changed) environment it turned out to be practically unsuitable for existence.

To determine the directions of development and tools for supporting domestic agricultural cooperation by all stakeholders interested in it (the state, public organizations, rural communities, etc.), foreign experience in the functioning of agricultural cooperatives, including modern opportunities for their development

and features of organizational transformations, as well as the most appropriate evolutionary trends taking into account high uncertainty, challenges and threats (political, environmental, biological).

Thus (based on the above), the purpose of the study, the results of which are presented in this article, is (1) an overview and analysis of the activities of a modern agricultural cooperative (using the example of the dairy cooperative “Arla Foods”), (2) the specification of trends inherent in its development in modern conditions, (3) identification of factors that determine new requirements for the quality of human capital, (4) identification of transformations that inevitably occur with the human capital of modern cooperatives in the course of their adaptation to a fluctuating environment.

Materials and methods

In order to get an answer to the question of how exactly organizational and technological innovations in cooperative activities affect the quality of human capital demanded by a cooperative, it is advisable to turn to the practices of cooperatives that are experiencing processes characteristic of many modern cooperative structures. As a result, the dairy cooperative “Arla Foods” is presented as an object of research, while the choice is due to the fact that in various aspects of its activities it is possible to trace many possible trends in the development of modern cooperatives in general.

The scientific basis for the study of the processes observed in modern Western agricultural agricultural cooperatives was provided by the most valuable materials of theoretical and empirical research on the characteristics (including problems) of the functioning of European cooperatives, in particular one of such outstanding representatives as the dairy cooperative “Arla Foods”, the development of which is accompanied by the tendencies inherent in many successful cooperatives: consolidation (through mergers and acquisitions); diversification of production; acquiring a transnational character of activity (Azuayi, 2016; Gaither, et al., 2008; Andersen, 2007; Belousova et al., 2021; Vigliarolo, 2020; Cheremisina et al., 2018). In addition, the work used statistical (and other) information about the functioning of “Arla Foods” obtained from the official website of the company, including from its two latest reports: 1) 2019 report, the emphasis in which is mainly on economic and financial results of the cooperative’s activities (Leading Through Sustainable Business Performance); 2) the 2020 report, reciting the data given in it around the problem of the company’s sustainable development, including during the COVID-19 pandemic and overcoming its consequences (Accelerating Sustainability Actions in Challenging Times).

Results

As for the history of the cooperative “Arla Foods”, it begins in 2000, when the Swedish cooperative “Arla” (after serious preparatory work) merged with a similar Danish cooperative “MD Foods” in the largest transnational cooperative called “Arla Foods”. The competitive position of the new structure, formed by the merger of two representative and successful cooperatives, is strengthened by the amalgamation of several advantageous positions, such as (1) the solid capital of the Arla cooperative accumulated in previous years due to favorable government policies, (2) the existing access to markets, (3) specific competencies and other important skills concentrated in the MD Foods cooperative (Nilsson, et al., 2009; Voronkova et al., 2019; Yemelyanov et al., 2020). Moreover, after 2010, two more small Swedish dairy cooperatives join Arla Foods, and now this cooperative, whose business model is still based on the ownership of farmers and their active participation in cooperative activities, firstly, ranks fourth in the world among dairy companies in terms of the volume of collected and processed milk, and secondly, it is the world’s largest producer of organic dairy products. The cooperative’s slogan is interpreted as “the desire to bring health and inspiration to the world”, and the mission is “to ensure the maximum value of milk supplied from farmers who are members of the cooperative, creating opportunities for the successful development of their production” (Arla, 2019). At the end of 2020, 9406 owner-farmers are members of the cooperative, and their farms have 1.5 million cows (Arla, 2020). The cooperative annually collects about 13.7 billion kg of raw milk, which comes mainly from the farms of its members, now located in seven countries of the world. As a result, the cooperative annually produces 6.7 billion kg of various nutritious dairy products, which are sold in 151 countries around the world (Arla, 2019), thereby constantly improving the financial condition of Arla Foods.

It is pertinent to note that if in 2020 the owners of the Arla Foods cooperative were (as noted above) 9406 milk producers from various countries (Sweden, Denmark, Great Britain, Germany, Belgium, the Netherlands and Luxembourg), then two years earlier (in 2018) the cooperative had 10,319 owners. The quantitative decline of farmers (cooperative members) is partly due to the fact that some of them stopped producing milk (or their business was acquired by another participant), and to a lesser extent due to the fact that farmers began to supply milk to another dairy company (cooperative or investor). -oriented corporation). In recent years, the number of farms has also been decreasing (with their simultaneous enlargement), which corresponds to the general trends observed in the dairy sector over the years both in Europe and around the world (Nilsson, et al., 2009).

Of course, the cooperative differs not only in the scale of its activities, but also in the innovativeness in its organization, including in approaches to strategic planning. For example, in 2019, Arla Foods is developing a new tool based on artificial intelligence, with which it is possible to determine with high accuracy, taking into account certain nuances, exactly how many kilograms of milk the cows on the farms of this cooperative will produce (at that time their number was 1.5 million). The result of this approach to the organization of strategic planning is, first of all, an improvement in forecasts (quickly and accurately) regarding the volume of milk received, in addition, an innovative development allows the use of raw milk with a higher return (the cooperative produced 200 million kg of milk in 2019). An important fact. The use of artificial intelligence determines both new progressive opportunities in Arla Foods and new serious requirements for the human capital of this organization (professional competencies of personnel, their personal and business qualities) (Asaliev, et al., 2014; Cherepovitsyn et al., 2016; Poghosyan, 2018; Mustafin, 2015), especially in connection with the significant expansion of the geography of the company's activities.

In addition, for the development of a long-term profitable business, from the point of view of the company's leaders, the markets of several regions have significant potential, such as Northern Europe, the Middle East, North Africa, China, Southeast Asia, West Africa, North America, and Russia. It is important to keep in mind that the cooperative's products are widely represented in emerging markets, and the cooperative itself is gradually being incorporated into local value chains in their respective segments. As for the international activities of the cooperative, it is significantly expanding, for example, (1) the company's position in the Middle East (in Bahrain, for example), (2) in China, Arla Foods works in partnership with the local dairy giant Mengniu. In general, the Arla Foods cooperative is committed to the belief that the constantly growing population of the planet needs food, and the healthy and nutritious products it produces play an important role in meeting this need.

Arla Foods, for example, marks a special year for Arla Foods as branding and communication teams strengthen the Arla brand by implementing key initiatives to improve its visual identity and, as a result, stimulate equity growth, increase assets, increase sales ... At the same time, the cooperative "Arla Foods", maintaining its high image, seeks to build its activities in the context of the most pressing social problems, supporting the global trend of sustainable development, focusing on reducing the negative impact on the environment, while taking measures to improve it. The members and management of the cooperative

are confident that intelligent (in terms of technology) dairy production can be part of their contribution to preserving the environment and preventing the effects of climate change. In their opinion, some concrete actions can contribute to this, for example, (1) sustainable production at the farm level (improving the efficiency of the use of feed and other agricultural resources, monitoring animal health, estimating carbon emissions on all farms owned by Arla Foods, increased carbon sequestration, support for research and innovation in sustainable dairy farming), (2) production of zero carbon dairy products (today Carbon Net Zero products are manufactured in Sweden under the Arla EKO brand), (3) promotion of environmentally friendly packaging (product packaging renewal, recycling or reuse, continuous innovation in packaging technologies, closer collaboration within the value chain to reduce packaging waste), (3) switch to renewable energy sources at company facilities and offices, (4) improved energy efficiency, increased no use of biogas, (5) minimization of food and other waste (strengthening cooperation along the value chain to minimize production waste, organizing activities to reduce food waste, improving the efficiency of manure use).

We would like to emphasize that in the activities of Arla Foods, environmental control is given high importance at different stages of the technological chain, various measures are taken to prevent (detect, reduce) certain violations in relation to the environment. The company itself, classifying environmental pollution, presents them as Scope (categories) 1, 2, 3, in particular: 1) emissions of the first category generated by activities under the direct control of the cooperative, which mainly include technological operations carried out by cars and other vehicles, as well as (in general) operations for the production, packaging and transportation of dairy products (since 2005, their CO₂ emissions have decreased by 25%); 2) emissions of the second category are indirect emissions caused by the use of energy which Arla Foods buys from its business partners, namely electricity, steam, heating or cooling (reducing environmental damage in this area is associated primarily with the consumption of energy from renewable sources, which in 2019 amounted to 33% of total consumption); 3) the third category is represented by emissions from purchased goods and services (for example, raw milk from the owners of the cooperative, packaging and external transport), as well as from waste management at the facilities of the cooperative, which (as follows from the analytical data of the company itself) make up 96% (Arla, 2019).

The sustainable development strategy implemented by the cooperative is fully consistent with both changing market conditions and consumer trends.

This means that the majority of consumers are concerned about what they can personally do to help protect the environment (according to surveys conducted by the company, the population of both Europe – 62%, and the United States – 59%). At the same time, consumers (and their number is increasing every year), in order to preserve the natural potential and ecology of the planet, are ready to pay a larger amount of money for purchased products and, of course, for packaging material.

In promoting the products of the cooperative, such an aspect as healthy food is no less important. In this regard, according to experts, the company “Arla Foods”, on the one hand, has a wide range of nutritious and healthy products in the list of manufactured products, on the other hand, it conducts constant and scrupulous work aimed at developing environmentally friendly and high-quality products of various types., attracting highly qualified innovative specialists to work. In addition, Arla Foods invests substantial sums in scientific research, one of the main goals of which is to increase the nutritional value of its products without compromising its quality and taste. The systematic work of Arla Foods with the public deserves attention, for example, (1) open days are organized on farms, the purpose of which is to establish close contact between farmers and consumers, (2) various kinds of food festivals and fairs are constantly held, where master classes of correct and balanced nutrition (3) great attention is paid to informing consumers about the possibilities of healthy and nutritious nutrition.

An important element of Arla Foods’ strategy is to support local communities, which in practice means, firstly, the development of local value chains in the production of dairy products, and secondly, the generation of innovative partnerships of the company with local customers and consumers, in- third, reaching consumers in regions where access to quality food is hampered by some difficulties. At the same time, the company, showing concern for its employees and taking care of their health, cultivates true cooperative (and also recognized by society) universal values in collectives, provides its employees with jobs (including inclusive ones) with equal access to vacancies for everyone.

As regards the principles of the Arla Foods cooperative, institutionalized in the structure of its management, they demonstrate (mostly) traditional (classical) character. For example, Arla Foods (a cooperative owned by 9406 farmers from seven countries according to information for 2020) is managed so that the voice of each owner is taken into account when making important decisions. Farmers elect members to the Board of Representatives, which in turn elects the Board of Directors. As a result, the management of the company is divided

between both elected and executive bodies. Note that the democratic principles in the management of the Arla Foods cooperative are implemented through a mechanism involving the delegation of the cooperative owners (farmers) of decision-making authority to the Board of Directors and Board of Representatives, the main economic tasks of which are (1) specifications of the strategic directions for the development of the cooperative, beneficial for its members, (2) the growth of the cooperative's assets, (3) the annual determination of the directions of profit distribution (including the quantitative parameters of this process). As for the social tasks, they include (1) the protection of cooperative democracy, (2) the development of leadership qualities among the farmers-owners, (3) the stimulation of the involvement of the members of the cooperative in all aspects of its activities. Moreover, the procedure for electing the governing bodies of the cooperative, being democratic, assumes that the owners of the cooperative gather for an annual meeting in their countries (first, within the boundaries of the municipalities to select representatives to the district councils, and then the members of the district council elect farmers who further express the interests of their farmers. district (district) in the Council of Representatives, which, according to the Charter of the cooperative, is the supreme body that makes all strategic decisions. It usually has 187 members, of which 175 people are owners (members) of the cooperative, and 12 are representatives of employees who are not Arla Foods has 20,020 full-time employees in various spheres of cooperative activity, as demonstrated in 2020 statistics (for comparison, in 2019 there were 19,174 employees).

As practice shows, the management structure in large European agricultural cooperatives is currently largely unified, although, of course, there are some specific subtleties. Specifically, the Arla Foods cooperative, as a rule, representatives of the owners are elected every two years (usually in odd-numbered years). Consequently, the last election took place in May 2019, when 55 new members were elected to the Council of Representatives (Arla, 2020). Then the Council of Representatives elects the Board of Directors, which also participates in determining the strategic directions of cooperative activities, but, in addition, monitors the company's activities, asset management, is responsible for scrupulous accounting, appoints the Executive Board. In general, the mission of the Board of Directors is, first of all, the management of the cooperative, taking into account the opinion of the best (active, efficiently functioning) farmers and making optimal decisions regarding the ownership structure and "investment portfolio". At the same time, the Board of Directors is called upon to take into account the interests of other interested parties (business partners), such

as creditors, investors, hired workers (employees), in the company's activities. The board of directors of the Arla Foods cooperative is currently represented by 15 individuals elected by farmers (cooperative members), three individuals nominated by employees (non-cooperative members) and two external consultants. During the 2019 election campaign, four new members were added to the Board of Directors, and two new consultants were appointed to ensure that the competence of the Board of Directors covers all important areas for conducting international business (Arla, 2020).

Structurally, the Board of Directors, representing the interests of farmers-owners of each geographic zone, includes four territorial (regional) councils, which, in fact, are subcommittees of the Board of Directors and consist of both members of the Board of Directors and members of the Board of Representatives. Regional Councils function in four territorial segments such as Sweden, Denmark, Great Britain, Central Europe (Germany, Belgium, Netherlands and Luxembourg). Management at Arla Foods is split (based on responsibilities) between the Board of Directors and the Executive Board, which is appointed by the Board of Directors and is directly responsible for the implementation of company policy. The Executive Board consists of both the Chief Executive Officer and the Chief Commercial Officer, who work with the Board of Directors to determine the strategic directions of the company, ensuring that they are followed in the future (while ensuring proper long-term growth of assets and profitability), implementing proper risk management, control, compliance with legal regulations and requirements.

Finally, another structural unit in the executive management of the cooperative is the Executive Management Team, which is appointed by the Executive Board and develops the tactics of the company, plans the operating structure, and is responsible for the daily business operations of the cooperative. In its composition, firstly, the members of the Executive Board themselves, and secondly, five employees, one of whom is a commercial leader in charge of the international commercial segment, and the rest (four people) are functional experts (their activities cover such areas of management, like finance, information technology, law, marketing, innovation, human resources, supply) Members of the Administrative Management Team inform each other about all important events (each in their own field of activity) and coordinate all intersectoral interactions.

Deserves the attention of theorists and practitioners (including from the point of view of the possibilities of using foreign experience of cooperation in Russia) and the taxation issues of Arla Foods (large assets, international in terms of geography of their members and consumers, entrepreneurial from the stand-

point of using modern financial instruments) ... Thus, one of the initiatives of the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) determines the development of new tax principles and requirements for documentation for European multinational companies, while adhering to the International Financial Reporting Standards. In particular, the cooperative Arla Foods, based in Denmark, is subject to Danish tax legislation developed specifically for cooperatives (profits are not accumulated in them, but returned to the owners in the form of the highest possible price for milk). In this regard, the income of the cooperative is considered as the personal income of the owners (members of the cooperative), and therefore, is subject to income tax (on the difference between the amount received for milk and the costs), which is collected from the members of the cooperative in the amount established in accordance with tax legislation the country where the farmer operates. In addition, the Arla Foods cooperative (as a multinational entrepreneurial cooperative) owns several subsidiaries around the world, which, in their new status (as a limited liability company), are subject to normal corporate taxation.

Regarding the financial activities of the cooperative “Arla Foods”, it should be specially noted that the company pays significant attention to risk management (effective identification, understanding, assessment, elimination), involving narrow (highly professional) specialists in this work, “mitigating” the adverse consequences of the impact of internal and external factors, using every opportunity to maximize the value of the company. The calculation takes into account both medium-term risks that threaten the implementation of the strategy chosen by the cooperative, and short-term risks that accompany, in fact, the daily business processes carried out by the company. By classifying these risks, it is possible to single out (1) strategic risks arising from external or internal trends or events that (realistically or potentially) have a significant impact on the implementation of the stated goals, (2) operational risks that threaten the performance of the cooperative’s business functions, (3) financial risks that could cause unexpected volatility in milk prices, net sales, profitability or market share, (4) legal risks associated with changes in legislation or regulation that could have a significant impact on the implementation of existing business goals.

Strategic risks. Given that the UK market has a significant share of the Arla Foods cooperative market (25%), the strategic risks of the company are associated with the negative consequences of Brexit, mainly such as restrictions on the movement of goods, devaluation of the pound sterling, changes in legislation and regulatory frameworks. activities of British farmers (members of the coop-

erative). Equally dangerous for the company's bottom line is the transformation of consumer preferences, especially when they (as has happened in recent years) increasingly prefer plant-based alternatives to dairy products and question the place of dairy products in healthy diets (Arla, 2019). Expecting sales of plant-based alternatives to dairy products to grow rapidly in the coming years, the company's management (by promoting information about the health benefits of dairy products) is focusing its activities on expanding its innovative product portfolio, enhancing it with an assortment that takes into account the most sophisticated consumer tastes (sustainability of food, primarily). And finally, the digitalization of the economy, primarily the development of e-commerce, has a no less significant impact (and, consequently, the threat) on the functioning of the cooperative. The emergence and expansion of digital commercial channels disrupts established marketing chains, leading to a significant increase in transaction costs. The development of new technologies for delivering products to the consumer is being updated against the background of the COVID-19 pandemic and its consequences (disruption of inter-territorial ties, social isolation, instability of production activities, fluctuations in the volume of consumption of dairy products by public catering enterprises).

Operational risks are determined primarily by price volatility inherent in a specific market for a given product, and fluctuations in milk volumes inherent in the production of dairy products according to its nature. Although 2019 showed unprecedented stability in milk prices, with only significant fluctuations in the relative prices of protein and fat, the overall volatility in the dairy markets in the coming years (the coronavirus crisis) could negatively impact sales and earnings. Operational risks should also include threats related to the mobility of key personnel holding strategic positions in the cooperative. Of course, it is people (human capital incorporated in them) that are the key element (resource) of any organization, and therefore Arla Foods, relying on their talents and competencies, seeks to involve in its activities (at all levels - local, regional, in general; for the fulfillment of all goals and objectives - strategic goals, daily business operations) of the most qualified employees. It should be specially noted that as the company becomes more and more "digital" and integrated into common IT systems, another channel of operational threats arises, associated with such serious risks as various kinds of information security breaches (cyber attacks, unauthorized access, etc. e), which can not only lead to disruption of business processes, but also adversely affect the position of the cooperative in the market and its reputation.

Turning to financial risks (the next group of risks), it is necessary to rank them from the most global to the narrowest. So, given (from the point of view

of various aspects) the international nature of the activities of the cooperative “Arla Foods” and the fact that 57% of its income is generated in currencies other than euros or Danish kroner (currencies of the location of the cooperative), one should start with the risks associated with fluctuations in exchange rates. Financial risks also include tax risks. Being, as already noted, a transnational company, the cooperative “Arla Foods” is constantly faced with the increasing requirements (more and more stringent) of the transparency of the company’s activities, the specific tax policies of the countries where its members are located, which increases the burden on the cooperative in terms of exchanging information with tax authorities, the volume of tax reporting, the number of tax audits, requiring additional funds and business efforts to comply with local tax requirements, track tax risks, and engage in tax planning.

Finally, legislative and regulatory risks are of undoubted scientific interest. Firstly, they are due to the tightening of requirements for the quality and safety of food, the violation of which leads to the withdrawal of products from production and, as a result, to significant losses. It is important to emphasize that, in light of today’s societal preferences, food safety and health and safety are the top priorities for operations throughout the chain and the marketing segment of a company’s business. Therefore, this aspect of Arla Foods’ activities is part of its social obligations, reflected in such an internal document as the Code of Conduct, and the ongoing food quality and safety management program involves transforming the supply chain to ensure efficiency and safety. Secondly, the sources of risks of this nature (legal risks) are, in addition to those noted, such circumstances unacceptable for the business environment as non-compliance with legal regulations, corruption, fraud and other manifestations of unethical (improper, illegal) business behavior, the occurrence of which increases the risk of fines, criminal prosecution, damage to reputation. Taking all these risks into account, the cooperative maintains a system of internal control over all business processes and seeks to prevent (timely identify) violations at all levels, both managerial and executive. Thirdly, as a result of the development of innovative technologies and the digitalization of information storage procedures, strict instructions for companies (of all levels and forms) on the observance of data confidentiality have become widespread (first of all, this concerns the personal data of employees, customers, other business partners), the violation of which Like many of the other requirements outlined above, it carries the risk of significant fines imposed by regulators and, of course, loss of reputation.

Nevertheless, taking into account all types of risks, Arla Foods provides the owner-farmers with stable and competitive milk prices (36.9 cents per kg of

milk in 2020, 36.6 in 2019), what is most important for her as an organization owned by farmers. Moreover, as noted in the company's report, profitability, profitability and cash turnover in 2020 reach the maximum possible values for all key performance indicators (Arla, 2020): revenue – 10.6 billion euros, profit – 352 million euros, investments – 704 million euros. A complete list of performance indicators of the Arla Foods cooperative is available in the company's financial report only for 2019, therefore, the statistical materials provided in the article contain data obtained mainly from this document (table 1).

Table 1.

Key financial indicators of the cooperative “Arla Foods”

Indicator	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Income (sales proceeds), million euros	10262	9257	10338	10425	10527
Profit, million euros	295	356	299	301	323
Total assets, million euros	6736	6382	6442	6635	7106
Non-current assets, million euros	3903	3714	3550	3697	4243
Current assets, million euros	2833	2668	2871	2938	2863
Shares, million euros	2148	2192	2369	2519	2494
Long-term liabilities, million euros	2084	1742	1554	1694	2304
Current liabilities, million euros	2504	2448	2499	242	2308
Net interest debt, including pension liabilities	2497	2017	1913	1867	2362
Net working capital, EUR million	999	831	970	894	823
Cash flow from operating activities, million euros	669	806	386	649	773
Cash flow from investment activities, million euros	-402	-167	-286	-425	-456
Profit rate,%	2,8	3,6	2,8	2,8	3,0
Equity ratio,%	31	34	36	37	34

A source: Leading Through Sustainable Business Performance. Arla Foods. Consolidated Annual Report. 2019. Available at: <https://www.arla.com/company/investor/annual-reports/>

As noted in the annual report (referring to 2019), despite an unfavorable global macroeconomic environment characterized by lower GDP rates (compared to previous years), uncertainty about the potential consequences of Brexit, a global trade conflict between the US and China, increased tensions in the Middle East, the decline in the growth rate of per capita consumption of dairy products in Western and developing markets, the positive results of the cooperative were influenced by such global trends as the stability of the major currencies

with which Arla Foods deals, the unprecedented stability of milk production in Europe and its prices, favorable shifts in the prices of fats and proteins, determining the growth of profitability for some categories of the cooperative's products (Arla, 2019).

Is available in the company's report only for 2019, therefore, the materials provided in the article contain data obtained on the basis of the last reporting year (2019).

Directly in 2019, the positive factors that had the greatest impact on revenue growth were (1) mergers and acquisitions carried out within the cooperative, (2) favorable changes in the exchange rate, significant investments in the company's human capital. As a result, despite the fact that the increase in volumes and the improvement in the range of products was to some extent offset by the decrease in prices, the proceeds from the sale of products still increased (Arla, 2019). The positive dynamics of revenue from different types of products also differs. Thus, sales of branded products (in higher margin segments) increased, while sales of private label products (in profitable segments) decreased, which generally led to a slight increase in revenues. As for the price effect, in 2019 it was slightly negative, with different price dynamics in different markets and in different segments. Such innovative investments (mastered by 2019) as the acquisition of the cheese-making business, the Kraft® production site (from Modeneléz International in the Middle East), the annual effect of the Yeo Valley Dairies Ltd. license agreement had a positive impact on revenue. in the UK, the acquisition in 2018 of the remaining 50% stake in Arla Foods Ingredients SA in Argentina.

Net profit of Arla Foods is also showing positive dynamics and in 2019 reaches 323 million euros (3.0% of revenue, with target values of this indicator in the range of 2.8 to 3.2%). According to the company's management, this allows them to accumulate unallocated capital for future investments, provide additional payments to owner-farmers, pay in good faith the maximum possible share of the profit through the prepaid milk price, and on an ongoing basis (Asaliev, et al., 2014; Strizhenok et al., 2019). In general, the stable financial position of the cooperative gives it the opportunity (1) to invest in the implementation of the strategy developed for 2020 "Good Growth 2020", (2) to implement the common vision for the development of the dairy industry in the near future. Despite the fact that for the economy in general and for the cooperative in particular, there is a macroeconomic and political environment that can hardly be called favorable (geopolitical tensions, escalation of trade conflicts, the coronavirus pandemic, Brexit, slower growth in many countries of the world), the prospects for the dairy industry still remain encouraging. As global supply and

demand are expected to remain reasonably balanced, the outlook for dairy prices remains stable. Nevertheless, it should be borne in mind that a change in the general economic situation may well have a significant impact on stability, as a result of which the performance of the Arla Foods cooperative in subsequent years may slightly decrease (although, judging by the company's Sustainable Development Report for 2020 year, they still have a positive trend, even despite the consequences of the COVID-19 pandemic). In any case, the experience of the functioning of a cooperative (including illustrative examples of its adaptation to changing circumstances) is indicative and useful for importing some of its elements into domestic (Russian) economic (cooperative) practice, including for the mandatory emphasis on the importance of human capital, its direct role in the development of modern cooperatives in a rapidly changing environment.

Discussions

Despite the significant and indisputable achievements of the theory of human capital, there are many questions regarding the interactions between human resource management and the development of organizations (including cooperative ones), namely: 1) reverse causation (not only skillful management leads to the effective functioning of organizations, but also successful organizations have greater opportunities for investment in human capital management; a profit-sharing policy leads to higher returns for the organization, but an organization with a higher profitability has the opportunity to implement the practice of widespread employee involvement in the management of companies; 2) possible difficulties in strict adaptation of management methods human resources to the strategies adopted by the firm, the reasons for which lie in the constantly changing content of the environment and the occurrence of unforeseen circumstances, which makes the process of applying flexible management practices much more difficult and problematic personal; 3) the degree of significance of the phenomenon under consideration (human capital) for organizational development (meaning, if human capital really has such a significant impact on the functioning of companies, then why do some organizations, despite some problems associated with human resources, achieve good results, achieve the goals) (Becker, et al., 1996; Guest, 1997; Korableva et al., 2020). These and some other questions concerning the relevance of the human capital available in the cooperative to its current state and development trends are relevant not only for countries with age-old cooperative trends and successful practices, but also for the domestic (Russian) situation, when the development of agricultural cooperation is associated with large difficulties and unfavorable circumstances.

Conclusion

In general, summarizing the review and analytical study of the activities of one of the modern agricultural cooperatives (dairy cooperative “Arla Foods”), the results of which are presented in this article, it is important to emphasize that the importance of human capital for the success of the development of cooperative organizations is obvious and is confirmed by both modern scientific research (Baker, et al., 2018; Boon, et al., 2018) and international economic practice (the results of the functioning of agricultural cooperatives in different countries of the world).

Summing up the analysis carried out, we emphasize that the high results of the cooperative’s activities are associated, firstly, with significant organizational and technological innovations undertaken by it in order to adapt to environmental changes, and secondly, with highly effective methods of working with personnel, which is becoming a cornerstone in the activities of any organization, be it a cooperative or an investor-oriented firm. Moreover, despite the fact that each of them in its own way identifies its policy, mission, goals, values, modern companies still have much in common with respect to methods of highly effective management: 1) development of career ladders, emphasis on learning ability, encouragement of diligence; 2) a high level of functional flexibility with the rejection of rigid job descriptions; 3) reduction of hierarchies and limitation of differentiation of professional statuses; 4) formation of teams and careful thoughtfulness of the team structure to solve problems (current, tactical, strategic) and, of course, emerging problems; 5) exemplary job design that promotes employee satisfaction; 6) new forms of assessments and incentive systems; 7) high involvement of employees in quality management and other processes. As a result, all these innovations (best practices) pursue the goal of the fullest use of the human capital of firms (organizations), the personal qualities of their employees to achieve the policies, missions and goals formulated by the organization.

In conclusion, referring to fundamental research on the importance of human capital for the development of organizations in general and the personal qualities of employees in particular, one should cite the conclusions of M. Patterson and his colleagues presented in the article “The Impact of People Management Practices on Business Performance” (Patterson , et al., 1997), in which the authors, proving the importance of the material and moral state of employees, their job satisfaction, argue a positive relationship between organizational culture, human resource management, interpersonal relationships in the company, on the one hand, and the success of the company (organizations) - on the other. With regard to human capital, scientists identify three most significant

areas: 1) selection of highly qualified employees and permanent development of their skills; 2) a reasonable design of the duties of employees, implying their professional flexibility, creativity, responsibility for results; 3) leadership and teamwork. The relevance of the theoretical conclusions of the researchers for the practical activities of modern cooperative organizations is confirmed by the above experience of functioning in the conditions of the prevailing realities of the dairy cooperative “Arla Foods”.

Acknowledgements. The reported study was funded by RFBR, project number 19-29-07315.

References / Список литературы

1. Andersen H. J. The Issue «Raw Milk Quality» From the Point of View of a Major Dairy Industry. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 2007, vol. 16, no. 1, pp. 240-254. <https://doi.org/10.22358/jafs/74201/2007>
2. Arla Foods. Leading Through Sustainable Business Performance. *Consolidated Annual Report*. 2019. <https://www.arla.com/company/investor/annual-reports/>
3. Arla Foods. Accelerating Sustainability Actions in Challenging Times. *Corporate Responsibility Report*. 2020. <https://www.arla.com/company/investor/annual-reports/>
4. Asaliev A.M., Zhuravlev P.V., Alkhimenko O.N. Intellectual Capital Management as the Aspect of Upgrading of Modern Company’s Management. *Life Science Journal*, 2014, vol. 11, pp. 363-366.
5. Azuayi R. Internationalization Strategies for Global Companies: A Case Study of Arla Foods, Denmark. *Journal of Accounting & Marketing*, 2016, vol. 5, no. 4, 1000191. <https://doi.org/10.4172/2168-9601.1000191>
6. Baker T., Welter F. Contextual Entrepreneurship – An Interdisciplinary Perspective. *Foundations and Trends in Entrepreneurship*, 2018, vol. 14, no. 4, pp. 357-426. <http://dx.doi.org/10.1561/03000000078>
7. Becker B., Gerhart B. The Impact of Human Resource Management on Organisational Performance: Progress and Prospects. *Academy of Management Journal*, 1996, vol. 39, no. 4, pp. 779-801. <https://doi.org/10.2307/256712>
8. Belousova M., Aleshko R., Zakieva R., Karabasheva M., Gorovoy S., Kozhemov S. Development of equipment management system with monitoring of working characteristics of technological processes. *Journal of Applied Engineering Science*, 2021, vol. 19, no. 1, pp. 186-192. <https://doi.org/10.5937/jaes0-28855>
9. Boon C., Eckardt R., Lepak D.P., Boselie P. Integrating Strategic Human Capital and Strategic Human Resource Management. *The International Journal of*

- Human Resource Management*, 2018, vol. 29, no. 1, pp. 34-67. <https://doi.org/10.1080/09585192.2017.1380063>
10. Cheremisina O.V., Sergeev V.V., Alferova D.A., Ilyna A.P. Quantitative x-ray spectral determination of rare-earth metals in products of metallurgy. *Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series*, 2018, vol. 1118, 012012. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1118/1/012012>
 11. Cherepovitsyn A., Moe A., Smirnova N. Development of transboundary hydro-carbon fields: Legal and economic aspects. *Indian Journal of Science and Technology*, 2016, vol. 9, no. 46. <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i46/107527>
 12. Gaither T.K., Curtin A. Examining the Heuristic Value of Models of International Public Relations Practice: A Case Study of the Arla Foods Crisis. *Journal of Public Relations Research*, 2008, vol. 20, no. 1, pp. 115-137. <https://doi.org/10.1080/10627260701727051>
 13. Golovina S., Antonova M., Abilova E. Assessment of Agricultural Cooperatives' Performance in Russia: The Case of the Kurgan Region. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 2020, vol. 392, pp. 370-376. <http://dx.doi.org/10.2991/assehr.k.200113.077>
 14. Golovina S., Hess S., Nilsson J., Wolz A. Networking among Russian Farmers and their Prospects for Success. *Post-Communist Economies*, 2019, vol. 31, no. 4, pp. 484-499. <http://dx.doi.org/10.1080/14631377.2018.1537737>
 15. Guest D.E. Human Resource Management and Performance: A Review and Research Agenda. *International Journal of Human Resource Management*, 1997, vol. 8, no. 3, pp. 265-276. <https://doi.org/10.1080/095851997341630>
 16. Korableva O.N., Gorelov N., Kalimullina O. Contemporary Issues of Intellectual Capital: Bibliographic Analysis. In J. P. Liyanage, J. Amadi-Echendu, & J. Mathew (Eds.), *Engineering Assets and Public Infrastructures in the Age of Digitalization - Proceedings of the 13th World Congress on Engineering Asset Management, WCEAM 2018*. pp. 457-464. (Lecture Notes in Mechanical Engineering). Springer Nature. 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48021-9_51
 17. Kurakin A., Visser O. Post-Socialist Agricultural Cooperatives in Russia: A Case Study of Top-Down Cooperatives in the Belgorod Region. *Post-Communist Economies*, 2017, vol. 29, no. 2, pp. 158-181. <https://doi.org/10.1080/14631377.2016.1267974>
 18. Martínez R.H., Arutyunyan S., Karabasheva M., Yesturliyeva A. Diagnostics and control of sustainable development of regions: Branch aspects. *Journal of Security and Sustainability Issues*, 2020, vol. 9, no. 3, pp. 1065-1076. [https://doi.org/10.9770/jssi.2020.9.3\(30\)](https://doi.org/10.9770/jssi.2020.9.3(30))

19. Morfi C., Nilsson J., Österberg H. Why Farmers Involve Themselves in Co-Operative District Councils. *Annals of Public and Cooperative Economics*, 2018, vol. 89, no. 4, pp. 581-598. <https://doi.org/10.1111/apce.12206>
20. Mustafin A. Coupling-induced oscillations in two intrinsically quiescent populations. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2015, vol. 29, no. 1-3, pp. 391-399. <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2015.05.019>
21. Nilsson J., Ollila P. Strategies and Structures in the European Dairy Co-operative Industry. *Journal of Co-operative Studies*, 2009, vol. 42, no. 2, pp. 14-23.
22. Patterson M., West M., Lawthorn R., Nickell S. *The Impact of People Management Practices on Business Performance. Issues in People Management*. London: Institute of Personnel and Development, 1997.
23. Poghosyan V. Philosophies of social behavior research: Meta-analytic review. *Wisdom*, 2018, vol. 11, no. 2, pp. 85-92. <https://doi.org/10.24234/wisdom.v11i2.212>
24. Strizhenok A.V., Korelskiy D.S., Kuznetsov V.S. The wastewater disposal system modernization during processing of amber deposit as a way to reduce the anthropogenic load on the baltic sea ecosystem. *Journal of Ecological Engineering*, 2019, vol. 20, no. 3, pp. 30-35. <https://doi.org/10.12911/22998993/99731>
25. Voronkova O., Antonov S., Lamanov E., Sterlikov F., Shafranskaya C., Yashin D. Entrepreneurial activity as an important factor in the development of the “green” economy. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 2019, vol. 9, no. 1, pp. 2492-2496. <https://doi.org/10.35940/ijtee.A4633.119119>
26. Vigliarolo F. Towards an ontological reason law in economics: principles and foundations. *Insights into Regional Development*, 2020, vol. 2, no. 4, pp. 784-801. [http://doi.org/10.9770/IRD.2020.2.4\(5\)](http://doi.org/10.9770/IRD.2020.2.4(5))
27. Yanbykh R., Saraikin V., Lerman Z. Cooperative Tradition in Russia: A Revival of Agricultural Service Cooperatives? *Post-Communist Economies*, 2019, vol. 31, no. 6, pp. 751-771. <http://dx.doi.org/10.1080/14631377.2019.1607439>
28. Yemelyanov V.A., Yemelyanova N.Y., Shved E.V., Nedelkin A.A., Fatkulin A.R. Modeling of the multilayer perceptrons for image recognition of the steel microstructures. *2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIconRus)*, 2020, pp. 952-955. <https://doi.org/10.1109/EIconRus49466.2020.9038971>
29. Yumashev A.V., Fateminasab S.M., Marjani A., Lirgeshas A.B. Development of computational methods for estimation of current efficiency and cell voltage in a Chlor-alkali membrane cell. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2021. <https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1897194>

30. Yu L., Huang W. Non-Economic Societal Impact or Economic Revenue? A Performance and Efficiency Analysis of Farmer Cooperatives in China. *Journal of Rural Studies*, 2020, vol. 80, pp. 123-134. <https://doi.org/10.1016/j.jrur-stud.2020.08.010>

DATA ABOUT THE AUTHORS

Svetlana G. Golovina, Doctor of Economics, Professor, Chief Researcher, Research Institute of Agrarian and Environmental Problems and Agricultural Management
Ural State Agrarian University
42, Karl Liebknecht Str., Yekaterinburg, 641300, Russian Federation
s_golovina@yahoo.com
ORCID: 0000-0002-1157-8487

Ivan N. Mikolaychik, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Vice-Rector for Research
Kurgan State Agricultural Academy named after T. S. Maltsev
Lesnikovo village, Ketovsky District, Kurgan Region, 641300, Russian Federation
min_ksaa@mail.ru
ORCID: 0000-0001-5189-2174

Andrey L. Poltarykhin, Doctor of Economics, Professor
Plekhanov Russian University of Economics
36, Stremyanny lane, Moscow, 113054, Russian Federation
poltarykhin@mail.ru
ORCID: 0000-0003-2272-2007

Pavel V. Zhuravlev, Doctor of Economics, Professor
Plekhanov Russian University of Economics
36, Stremyanny lane, Moscow, 113054, Russian Federation
kafedra-etiz@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-6061-9935

ДААННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Головина Светлана Георгиевна, доктор экономических наук, профессор, главный научный сотрудник НИИ аграрно-экологических проблем и управления сельским хозяйством

*Уральский государственный аграрный университет
ул. Карла Либкнехта, 42, г. Екатеринбург, 641300, Российская Фе-
дерация
s_golovina@yahoo.com*

Миколайчик Иван Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, проректор по научной работе
*Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени
Т. С. Мальцева
с. Лесниково, Кетовский р-он, Курганская обл., 641300, Российская
Федерация
tin_ksaa@mail.ru*

Полтарыхин Андрей Леонидович, доктор экономических наук, профессор
*Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова
Стремянный пер., 36, 113054, г. Москва, Российская Федерация
poltarykhin@mail.ru*

Журавлев Павел Викторович, доктор экономических наук, профессор
*Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова
Стремянный пер., 36, 113054, г. Москва, Российская Федерация
kafedra-etiz@yandex.ru*

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-284-302

УДК 001.891:303.823.2

СТРАТЕГИИ СОВЛАДАНИЯ СО СТРЕССОМ У СТУДЕНТОВ ВО ВРЕМЯ ПАНДЕМИИ COVID-19. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВЛАДАЮЩЕГО ПОВЕДЕНИЯ

Л.Г. Климацкая, А.А. Дьячук, Ю.Ю. Бочарова, А.И. Шпаков

***Цель:** представить обзор научной литературы по проблеме изучения со-
владающего поведения с ситуацией пандемии Covid-19, подходы и программу
междисциплинарного исследования копинг-стратегий студентов во время
срочного перехода на дистанционное обучение в условиях противоэпидеми-
ческих мероприятий.*

***Результаты.** Дана характеристика способов выявления продуктивных
копинг-стратегий при совладании со стрессом и взаимосвязи их с выделе-
нием условий, оценкой ситуации, ресурсов, которые имеются у человека в
ситуации, переживаемой как трудной. С точки зрения медико-гигиенических
исследований при оценке копинг-поведения следует учитывать индивидуаль-
ные показатели физического, психического здоровья, образ жизни, гигиени-
ческие навыки и стандарты. При оценке психолого-педагогических факторов
совладающего поведения необходимо обращать внимание на академическую
успеваемость, особенности социально-психологического взаимодействия с
однокурсниками и преподавателями, социально-экономический статус, ген-
дерные и личностные особенности индивидуума.*

***Заключение.** Междисциплинарный медико-психолого-педагогический
подход к изучению совладающего поведения студентов в период пандемии
Covid-19 обуславливает построение типологии копинг-поведения, позволяет
выделить продуктивные и непродуктивные копинг-стратегии совладания
со стрессовой ситуацией, определить и описать дополнительные факторы,
влияющие на их выбор. Выработка рекомендаций по применению типоло-
гии копинг-стратегий, полученные на основе междисциплинарного научного
подхода, позволит администрации университетов обоснованно подойти к
разработке медико-гигиенических и психолого-педагогических профилак-
тических мероприятий при проектировании образовательной среды в условиях
пандемии.*

Ключевые слова: пандемия Covid-19; совладающее поведение; стресс; копинг-стратегии; студенты; дистанционное обучение

Для цитирования. Климатская Л.Г., Дьячук А.А., Бочарова Ю.Ю., Шпаков А.И. Стратегии совладания со стрессом у студентов во время пандемии COVID-19. Методология исследования совладающего поведения // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 2. С. 284-302. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-284-302

STUDENTS' STRESS COPING STRATEGIES DURING THE COVID-19 PANDEMIC. METHODOLOGY OF RESEARCH

L.G. Klimatckaia, A.A. Dyachuk, Y.Yu. Bocharova, A.I. Shpakou

Aim. To present a review of the scientific literature on the problem of studying students' coping behavior in the situation of Covid-19 pandemic, approaches as well as program of interdisciplinary research of students' coping strategies during urgent transition to distance learning in the conditions of anti-epidemic measures.

Results. The characteristic of the ways of revealing productive coping-strategies under stress is given with the allocation of conditions, evaluation of the situation, resources which are available for students. From the point of view of medical and hygienic research when assessing coping behavior; individual indicators of physical, mental health, lifestyle, hygienic skills and standards should be taken into account. When assessing psychological and pedagogical factors of coping behavior one should pay attention to academic performance, peculiarities of social and psychological interaction with classmates and teachers, socio-economic status, gender and personal characteristics of the individual.

Conclusion. The interdisciplinary medical-psychological-pedagogical approach to the study of students' coping behavior during the Covid-19 pandemic causes the construction of a typology of coping behavior; allows to identify productive and non-productive coping strategies for coping with stressful situations, to determine and describe additional factors influencing their choice. The development of recommendations on the application of the typology of coping strategies obtained on the basis of interdisciplinary scientific approach, will allow the administration of universities to reasonably approach the development of medical-hygienic and psychological-pedagogical preventive measures in the design of the educational environment in the conditions of the pandemic.

Keywords: coping behavior; stress; coping strategies; pandemic Covid-19; students; distance learning

For citation. Klimatchkaia L.G., Dyachuk A.A., Bocharova Y.Yu., Shpakou A.I. Students' Stress Coping Strategies During the COVID-19 Pandemic. Methodology of Research. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 284-302. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-284-302

Введение

Быстрое распространение заболевания Covid-19 по всему миру привело к возникновению пандемической ситуации, которая оказывает негативное влияние на общественное здоровье и систему здравоохранения, экономическую ситуацию и социальную жизнь в глобальном масштабе. В целях предотвращения распространения нового вируса SARS-CoV-2 во многих странах были введены жесткие карантинные меры. Студенты и преподаватели учебных заведений вынуждены были в короткий срок перейти к дистанционному формату работы и обучения. Изменение условий обучения с использованием информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) во время карантинных мероприятий выявило новые особенности и вызовы при реализации данного формата обучения.

Согласно опросам, проведенным в марте–апреле 2020 г. [10], треть студентов в новых условиях обучения отмечала повышение информационной нагрузки, появление страхов, связанных с техническими аспектами работы («подведет техника», «не успеют вовремя выполнить работу», «не сохранится результат работы»). С другой стороны, возросла актуальность самоорганизации студентов [3]. Различные возможности и ресурсы студентов для обучения в домашних условиях, уровень готовности и наличия технических, цифровых и других ключевых компетенций, не всегда отлаженные каналы коммуникации вуза и студентов, депривация социальных связей, неопределенность развития ситуации, угрозы жизни и здоровью в условиях пандемии Covid-19 привели к усилению тревоги, гнева и других симптомов посттравматического стресса обучающихся [28], проявлению усталости от данных форматов работы, снижению работоспособности, ухудшению физического и психического здоровья [18], что может приводить в последующем к соматоформным заболеваниям, развитию дезадаптационных состояний личности, синдрома эмоционального выгорания. В отчете Центра по контролю и профилактике заболеваний США отмечается, что среди 5400 опрошенных в последнюю неделю июня 2020 года 41% сообщили по крайней мере об одной негативной проблеме психического

здоровья, включая симптомы тревоги или депрессии, или об увеличении употребления психоактивных веществ, чтобы справиться со стрессом. У 25,5% молодых людей в возрасте от 18 до 24 лет в течение последних 30 дней даже появлялись мысли о самоубийстве [32].

В связи с этим становится актуальным вопрос о стратегиях преодоления трудностей обучающимися, совладания со стрессовой ситуацией перехода на дистанционный и смешанный формат обучения, выявление продуктивных копинг-стратегий в условиях удаленного и гибридного обучения.

Специфика актуальных изменений, связанная с неопределенностью, распространением угроз жизни и здоровью, трансформацией образа жизни, ведет к возникновению многих особенностей, с которыми люди раньше не сталкивались в своей жизни, и которые ставят перед ними новые вызовы совладания.

Исследований, обсуждающих особенности совладающего поведения студентов при переходе на дистанционное обучение во время пандемии, не так много. Большинство из них выполнены без учета особенностей индивидуального физического и психического здоровья участников и не позволяют увидеть совладаниющее поведение с трудной жизненной ситуацией в динамическом и смысловом аспекте.

Недостаточная изученность проблемы и актуальность для профилактики соматоформных расстройств, сохранения здоровья и психологического благополучия студентов, организации образовательного процесса на основе здоровьесберегающих технологий определяют необходимость междисциплинарного исследования совладающего поведения студентов во время пандемии Covid-19.

Цель: представить обзор научной литературы по проблеме изучения совладающего поведения с ситуацией пандемии Covid-19, подходы и программу междисциплинарного исследования копинг-стратегий студентов во время срочного перехода на дистанционное обучение в условиях протivoэпидемических мероприятий.

Результаты

Проблема совладания изначально рассматривалась в клинической психологии и психологии стресса. Однако смещение представлений о стрессовой ситуации как объективной к переживанию самим человеком ситуации как трудной, критической приводит к расширению применения методов совладания со стрессом и копинг-стратегий в различных сферах жизне-

деятельности человека с учетом определенного этапа жизненного пути личности, в соотношении с социокультурным контекстом, образом жизни.

В современной медицинской и психологической литературе обосновываются несколько подходов к изучению совладающего поведения. Например, динамический подход совладания рассматривается как специфическое взаимодействие событий в системе «личность – ситуация», а копинг-стратегии выступают как результат взаимодействия средовых процессов и человека [19]. Переживание стрессогенных воздействий как несущих угрозу или вызов здоровью связано с контекстом, в котором эти события происходят, оценкой человеком внешних и внутренних требований, ресурсов, которые позволяют справиться со складывающейся стрессовой ситуацией через влияние как на ее саму, либо на свои защитные эмоциональные процессы. В рамках данного подхода выделяются процессуальные закономерности совладания. А. Незу, Т. Дзурилла и М. Голдфрид показали особенности выбора стратегий на разных стадиях преодоления трудных жизненных ситуаций, их прогностические эффекты [6]. Изменение восприятия, оценки стрессоров могут трансформироваться по мере преобразования самой жизненной ситуации, этапов совладания как процесса, что влияет на выбор индивидуальных копинг-стратегий. При этом личность может обладать различными способами преодоления, определенным копинг-профилем, различающимся в социальных, профессиональных и возрастных группах [11; 13].

Анализ научных исследований позволяет актуализировать необходимость изучения копинг-стратегий не только через рассмотрение медико-психологических факторов и переживаний, но и психофизиологических изменений функциональных состояний, особенностей самоорганизации и организации учебной деятельности студентов в новых условиях информационной среды. Для понимания выбираемых копинг-стратегий в ситуации объективно стрессогенной необходимо выделять как динамическую сторону, так и смысловую, в том числе с конкретизацией ресурсов, которые влияют на оценку ситуации и реализацию выбираемых копинг-стратегий [7].

При личностно-ситуативном подходе современные модели копинг-стратегий акцентируют внимание на субъективных аспектах: совладания как процесса активного и осознанного взаимодействия человека с ситуацией, гибкого отношения к своим целям, саморегуляции в ситуации столкновения с субъективными трудностями, процесса конструктивного совладания с возможностью и способностью человека реализовать богатый репертуар конкретных копинг-стратегий, стрессоустойчивости как

индивидуальной способности организма сохранять нормальную работоспособность во время действия стрессора.

Выделение субъективных факторов без учета содержания ситуации для человека, значимости того, что может быть потеряно во время трудной ситуации, не позволяет понять, что именно предпринимает человек, используя определенные копинги, на что направлено преодоление. Л.И. Анцыферова отмечает необходимость учитывать ту ценность, которая в условиях трудной ситуации может быть потеряна или уничтожена. Обычно именно ради сохранения этой ценности человек прибегает к совладающему поведению [1]. Это необходимо учитывать в ситуациях, характеризующихся комплексным характером стрессогенных факторов, в которых переживание неопределенности является индикатором сложности [9]. Трактовка трудных ситуаций соотносится со значимостью угроз, стрессогенных факторов, с воспринимаемой сложностью [12]. Субъективно незначимые ситуации не мотивируют на совладание. В ситуации неопределенности сложность проявляется объективно. Однако переживание человеком трудности ситуации, запускающей стратегии совладания, замещается изысканием тех ресурсов, которые актуализируются для ее преодоления.

Ресурсный подход предполагает, что существует некоторый комплекс ключевых составляющих, которые контролируют и организуют распределение других ресурсов [17], что может объяснить адаптацию и сохранение здоровья, несмотря на осложняющиеся жизненные обстоятельства. В качестве таких ресурсов рассматриваются: оптимизм, жизнестойкость, самоэффективность, локус контроля, а также внесубъектные ресурсы (физическая и социальная среда, культура, средства жизнедеятельности), интересубъектные (процессы взаимодействия людей), интрасубъектные (индивидуальные особенности индивидуума и его психики). Владение и управление ресурсами и применяемые копинг-стратегии могут оказывать взаимное влияние.

Изучению выбираемых копинг-стратегий на функциональное состояние организма, переживание тревоги, тревожности и благополучия посвящено большое количество исследований [4; 5; 25; 27]. Проводимые ранее исследования показали, что выбор определенного поведения может способствовать укреплению психологического здоровья и благополучия, либо приводить к появлению и усилению невротической симптоматики [15, 23]. В качестве возрастной особенности студентов N.D. Wienstein выделил свойственное им оценивание себя как менее уязвимых по отношению к опасным заболеваниям, легко могущих справиться с бедой [31].

Анализ многих работ позволяет актуализировать необходимость изучения копинг-стратегий студентов не только через рассмотрение медико-психологических факторов и переживаний, но и психофизиологических изменений функциональных состояний, особенностей самоорганизации и организации учебной деятельности в новых условиях информационной среды. Для понимания выбираемых копинг-стратегий в ситуации объективно трудной (стрессогенной) необходимо выделять как динамическую сторону, так и смысловую, в том числе с конкретизацией ресурсов, которые влияют на оценку ситуации и реализацию выбираемых копинг-стратегий [7].

К особенностям ситуации обучения во время пандемии Covid-19 можно отнести опосредованный информационно-коммуникационными технологиями (ИКТ) образовательный процесс. Использование различных технологий предполагает не просто перенесение способов, реализуемых при непосредственном взаимодействии, но и выстраивание новых форм работы, ориентированных на самостоятельную подготовку. Происходящие трансформации в организации образовательного процесса, степень готовности всех участников к работе в новых форматах, уровень цифровой грамотности, самоорганизация и сформированные умения самостоятельно учиться, а также неожиданность изменений, которые приводят к негативным переживаниям, ограничение пространства жизнедеятельности, резкое сворачивание внеучебной деятельности и внеучебного взаимодействия, наряду с внешними карантинными мероприятиями делают данную ситуацию объективно трудной. Исследования, проводимые в период первой волны пандемии в основном были посвящены изучению ответной реакции на стресс: тревожности, депрессивных состояний студентов [16; 24; 29; 30].

Можно предположить, что студенты используют копинг-стратегии, которые применялись ранее и показали свою эффективность. В работах Е.П. Белинской [2] обсуждается влияние информационной социализации на восприятие человеком ситуаций как трудных, процесс совладания, определение возможностей и ограничений использования информационного пространства как ресурса копинга, меняются ли выделенные ранее копинг-стратегии при условии их «развертывания» в виртуальной коммуникации. Молодые люди, имеющие достаточно расширенную коммуникативную социальную сеть, отмечают, что в случае тех или иных трудностей в жизни они предпочитают взаимодействовать скорее с теми друзьями, с которыми имеют контакты и в реальной жизни, нежели с теми, кто представлен в общении лишь виртуально.

В исследованиях L. Leung [20] показано, что, несмотря на расширение пространства коммуникации через социальные сети, это не всегда приводит к поиску социальной поддержки как стратегии продуктивного совладания с ситуацией, а выступает скорее новым видом эмоционально-ориентированного копинга.

Насущными являются задачи изучения и оценки эффективности копинг-стратегий, используемых именно в условиях применения ИКТ при переходе на дистанционное обучение, выработки новых стратегий совладания, учитывая границы и возможности применения копингов в информационной среде [7].

Обсуждение разных видов копинг-стратегий сводится к выделению продуктивных, функциональных и непродуктивных. Критерий продуктивности преодоления и совладания связывают с психологическим здоровьем и благополучием, выражающимся в ситуативном изменении депрессии, тревожности, психосоматической симптоматики и стрессоустойчивости. В связи с этим рекомендуется рассмотрение продуктивных копинг-стратегий с фиксацией уровня тревожности, невротизации и психосоматических изменений, которые при определенных условиях могут стать устойчивыми и привести к ухудшению здоровья.

В ранее проводимых исследованиях были выявлены продуктивные копинг-стратегии, связанные с ориентацией на решение проблемы, фокусировкой на проблеме, обращении к другим людям за медико-социальной поддержкой, проактивный копинг, планирование деятельности, копинг, сфокусированный на поиске смысла, и стратегии юмора [9]. Следует отметить, что возможности продуктивного копинга снижаются, если есть несоответствие когнитивной оценки ситуации [8].

Ситуация самоизоляции и жестких карантинных мер привели к дефициту социальных связей, преобладанию иных каналов коммуникации. Отсутствие готовых продуктивных решений и способов поведения в неопределенной ситуации сократили обращение к проблемно ориентированным и активным стратегиям совладания. Концентрации на эмоциях, традиционно рассматриваемые как непродуктивные стратегии совладания, в связи с отсутствием влияния на субъективное благополучие теряют дисфункциональный характер [9], что определяет необходимость выделения новых критериев продуктивных копинг-стратегий.

Современная постнеклассическая парадигма в исследованиях складывается в науке как ответ на сложность изучаемых феноменов как необратимо эволюционирующих и нелинейных открытых систем. Наиболее

конгруэнтным методологическим подходом является междисциплинарный, позволяющий охватить возможное поле феномена и контекста его развития.

Для реализации задач исследования совладающего поведения студентов в условиях пандемии Covid-19 нами предлагается использовать междисциплинарный подход, включающий медико-диагностические, психолого-педагогические методы исследования в едином комплексе.

Изучение копинг-стратегий в рамках динамического подхода к совладанию с трудностями как взаимодействию субъекта с ситуацией, разворачивающейся в несколько этапов, позволит выделить используемые копинг-стратегии на каждом этапе. Различные этапы перехода необходимо описывать со стороны педагогических условий, особенностей организации образовательного процесса с применением информационно-коммуникационных технологий. Изучение этих условий будет соотноситься с особенностями образа жизни в ситуации смешанного и дистанционного обучения (режим дня и питания, двигательная активность в условиях высокой информационной нагрузки, длительное нахождение в статических позах, гигиенические навыки и привычки), а также с материально-техническими возможностями для реализации такого формата в удаленных условиях. Относительно каждого этапа будет проводиться оценка совладающего поведения студентов и применяемых копинг-стратегий. Сравнение ситуации обучения во время пандемии при разных форматах и противоэпидемиологических мероприятий на примере двух стран – России, где несколько месяцев действовал режим самоизоляции, и Беларуси, не вводившей жесткие карантинные меры, – позволит выделить степень стрессогенности ситуации, глубину влияния на здоровье и психологическое благополучие студентов.

Степень стрессогенности быстро изменяющихся условий необходимо рассматривать через оценку студентами ситуации как трудной, превышающей их адаптационные возможности. При этом необходимо развести влияние стрессогенных факторов, связанных с пандемией (угроза здоровью, изменение социально-экономического статуса, привычного образа жизни и пр.) и с переходом на дистанционное обучение. Для этого предполагается изучить представления о дистанционном обучении и ситуации пандемии, выделить на основе контент-анализа основные констатации, связанные с восприятием и оценкой ситуации и формата обучения. Сопоставление копинг-стратегий студентов вузов г. Красноярска и г. Гродно, стратифицированных по полу, возрасту, направлению подготовки позволит установить преобладающие копинг-стратегии при разных форматах обучения: дистан-

ционном формате и традиционном аудиторном режиме с расширенными возможностями обучаться онлайн, используя ИКТ.

Оценка эмоционального стресса студентов будет рассмотрена через анализ переживания депрессивных, проявления ситуативной тревожности, функциональные состояния и уровень гормонов стресса. Экспертные оценки со стороны преподавателей позволят соотнести данные характеристики с особенностями учебной деятельности, социально-психологического взаимодействия с однокурсниками и преподавателями.

Поиск способов разрешения стрессовой ситуации будет оцениваться через выбираемый студентами репертуар копинг-стратегий, их структуру относительно условий обучения и противоэпидемиологических мероприятий с учетом гендерных, возрастных особенностей и направления подготовки. Сопоставление копинг-стратегий на разных этапах реализации новых форматов обучения позволит увидеть динамику совладания с ситуацией пандемии, дать оценку продуктивности копинг-стратегий.

Продуктивность совладающего поведения в ситуации обучения во время пандемии Covid-19 предполагает поиск новых оснований. В качестве таковых мы рассматриваем функциональные состояния обучающихся, видение возможностей для реализации личных целей, самоэффективность как обеспечение результата собственными усилиями через оценку своих способностей выполнить намеченное, отношение к учебной деятельности и ее результативность. Анализ соотношений данных оснований с помощью метода прогрессивной типологии позволит последовательно выделить критерии для построения типологии копинг-стратегий, позволяющих выделить внутренние механизмы, обеспечивающие ту или иную стратегию совладания с трудной ситуацией, описать и прогнозировать адаптационный и здоровьесохраняющий потенциал совладающего поведения.

Представленная программа междисциплинарного исследования позволит выделить стрессогенные факторы, связанные с ситуацией пандемии Covid-19 и с дистанционным, гибридным форматам обучения, оценить психофизиологическое состояние студентов, определить непродуктивные и продуктивные копинг-стратегии, что позволит обозначить риски психологическому здоровью и благополучию, наметить мишени профилактической работы на разных уровнях, включающие организационно-методические, психолого-педагогические, медико-гигиенические условия, стать основанием для проектирования здоровьесберегающей образовательной среды вуза, разработки системы медико-психологического сопровождения обучающихся.

Заключение

Междисциплинарный медико-психолого-педагогический подход к изучению совладающего поведения студентов в период пандемии Covid-19 обуславливает построение типологии копинг-поведения, позволяет выделить продуктивные и непродуктивные копинг-стратегии совладания со стрессовой ситуацией, определить и описать дополнительные факторы, влияющие на их выбор. Выработка рекомендаций по применению типологии копинг-стратегий, полученные на основе междисциплинарного научного подхода, позволит администрации университетов обоснованно подойти к разработке медико-гигиенических и психолого-педагогических профилактических мероприятий при проектировании образовательной среды в условиях пандемии.

Конфликт интересов. Авторы не заявляют о конфликте интересов.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, Правительства Красноярского края и Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта № 20-413-242905

Список литературы

1. Анцыферова Л.И. Личность в трудных жизненных условиях: переосмысление, преобразование ситуаций и психологическая защита // Психологический журнал. 1994. Т. 15, № 1. С. 3–19.
2. Белинская Е.П. Совладание с трудностями в эпоху новых информационных технологий: возможности и ограничения // Психологические исследования: электронный журнал. 2014. Т. 7, № 38. <http://psystudy.ru/index.php/pum/2014v7n38/1061-belinskaya38.html> (дата обращения: 18.12.2020).
3. Вызовы пандемии COVID-19: психическое здоровье, дистанционное образование, интернет-безопасность: сб. материалов / ред. В.В. Рубцов, А.А. Марголис, И.В. Вачков, О.В. Вихристюк, Н.В. Дворянчиков, Т.В. Ермолова, Ю.М. Забродин, Н.Н. Толстых, А.В. Хаустов, А.Б. Холмогорова, А.А. Шведовская. М.: Издательство ФГБОУ ВО МГППУ, 2020. 480 с.
4. Корреляция личностной и ситуационной тревожности с параметрами системы гомеостаза при экзаменационном стрессе / Жданов Р.И., Куприянов Р.В., Сыромятникова В.Ю., Жданова С.И. Двоеносов В.Г. // Психология стресса и совладающего поведения: ресурсы, здоровье, развитие. Материалы IV Международной научной конференции. Кострома, 22–24 сентября 2016 г., Т.1. С. 107–110.
5. Ледовская Т.В., Бирюкова Д.А. Взаимосвязь совладающего поведения и показателей тревожности у студентов вуза // Ярославский педагогический вестник. 2017. №. 2. С. 233–237. http://vestnik.yspu.org/releases/2017_2/44.pdf

6. Мацумото Д. Психология и культура. СПб.: Питер, 2003. 718 с.
7. Наргова-Бочавер С.К. «Coping behavior» в системе понятий психологии личности // Психологический журнал. 1997. Т. 18, № 5. С. 20–29.
8. Рассказова Е.И., Гордеева Т.О. Копинг-стратегии в психологии стресса: подходы, методы и перспективы // Психологические исследования. 2011. № 3(17). <http://psystudy.ru/index.php/num/2011n3-17/493-rasskazova-gordeeva17.html> (дата обращения: 16.01.2021).
9. Рассказова Е.И., Леонтьев Д.А., Лебедева А.А. Пандемия как вызов субъективному благополучию: тревога и совладание // Консультативная психология и психотерапия. 2020. Т. 28, №2. С. 90–108. <https://doi.org/10.17759/cpp.2020280205>
10. Уроки «Стресс-теста»: вузы в условиях пандемии и после нее. Аналитический доклад / Ред. К.А. Баранников, О.В. Лешуков, О.Л. Назайкинская, Е.А. Суханова, И.Д. Фрумин. М.: НИУ ВШЭ, июнь 2020. 52 с.
11. Хачатурова М.Р. Совладающий репертуар личности: обзор зарубежных исследований // Психология. Журнал Высшей школы экономики. 2013. Т. 10, № 3. С. 160–169. <https://psy-journal.hse.ru/2013-10-3/91972114.html>
12. Adaptive self-regulation of unattainable goals: Goal disengagement, goal reengagement, and subjective well-being / Wrosch C., Scheier M.F., Miller G.E., Schulz R., Carver C.S. // Personality and Social Psychology Bulletin. 2003. Vol. 29, N 12. pp. 1494–1508. <https://doi.org/10.1177/0146167203256921>
13. Appraised changeability of a stressor as a modifier of the relationship between coping and depression: A test of the hypothesis of fit / Vitaliano P.P., DeWolfe D.J., Maiuro R.D., Russo J., Katon W. // Journal of Personality and Social Psychology. 1990. Vol. 59, N 3. pp. 582–592. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.59.3.582>
14. Big five, self-regulation, and coping strategies as predictors of achievement emotions in undergraduate students / Fuente J., Paoloni P., Kauffman D., Yilmaz-Soylu M., Sander P., & Zapata L. // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020. Vol. 17, N 10. <https://doi.org/10.3390/ijerph17103602>
15. Blankstein K.R., Flett G.L., Watson M.S. Coping and academic problem-solving ability in test anxiety // Journal of Clinical Psychology. 1992. Vol. 48, N 1. pp. 37–46. [https://doi.org/10.1002/1097-4679\(199201\)48:1%3C37::aid-jclp2270480105%3E3.0.co;2-f](https://doi.org/10.1002/1097-4679(199201)48:1%3C37::aid-jclp2270480105%3E3.0.co;2-f)
16. Coping styles and mental health in response to societal changes during the COVID-19 pandemic. International / Gurvich C., Thomas N., Thomas E. Hudaib A., Sood L., Fabiato K., Sutton K., Isaacs A., Arunogiri S. // Journal of Social Psychiatry. October 4, 2020. <https://doi.org/10.1177/0020764020961790>

17. Hobfoll S.E. The ecology of stress. Taylor & Francis. 1988. 354 p.
18. Kislyakov P.A. Psychological resistance of student youth to information stress in the COVID-19 pandemic // *Perspectives of Science and Education*. 2020. N 5 (47), pp. 343–356. <https://doi.org/10.32744/pse.2020.5.24>
19. Lazarus R., Folkman S. Stress, appraisal and coping. New York: Springer, 1984. 460 p.
20. Leung L. Unwillingness-to-communicate and college students' motives in SMS mobile messaging // *Telematics and Informatics*. 2007. Vol. 24, N 2. pp. 115–129. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2006.01.002>
21. Lewis R., Frydenberg E. Concomitants of failure to cope: What we should teach adolescents about coping // *British Journal of Educational Psychology*. 2002. Vol. 72, N 3. pp. 419–431. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1348/000709902320634483>
22. Marriage K., Cummins R.A. Subjective Quality of Life and Self-Esteem in Children: The Role of Primary and Secondary Control in Coping with Everyday Stress // *Social Indicators Research*, 2004, vol. 66, no. 1-2, pp. 107–122. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1023/B:SOCI.0000007493.32548.0c>
23. Nakano K. Coping strategies and psychological symptoms in a Japanese sample // *Journal of Clinical Psychology*. 1991. Vol. 47. N 3. pp. 346–350. [https://doi.org/10.1002/1097-4679\(199105\)47:3%3C346::AID-JCLP2270470304%3E3.0.CO;2-H](https://doi.org/10.1002/1097-4679(199105)47:3%3C346::AID-JCLP2270470304%3E3.0.CO;2-H)
24. Psychological Description of Students in the Learning Process During Pandemic Covid-19 / Hasanah U. Ludiana L., Immawati I., Livana PH. // *Jurnal Keperawatan Jiwa*. 2020. Vol. 8, N3, pp. 299–306. <https://doi.org/10.26714/jkj.8.3.2020.299-306>
25. Relations between plasma oxytocin, depressive symptoms and coping strategies in response to a stressor: the impact of social support / McInnis O.A., McQuaid R.J., Matheson K., Anisman H. // *Anxiety, Stress, & Coping*. 2017. Vol. 30. N5. pp. 575–584. <https://doi.org/10.1080/10615806.2017.1333604>
26. Skinner E.A., Zimmer-Gembeck M.J. The development of coping: Stress, neurophysiology, social relationships, and resilience during childhood and adolescence. Cham, Switzerland: Springer International, 2016. 355 p.
27. Stress experience and performance during an oral exam: the role of self-efficacy, threat appraisals, anxiety, and cortisol / Ringeisen T., Lichtenfeld S., Becker S., Minkley N. // *Anxiety, Stress, & Coping*. 2019. Vol. 32. N 1. pp. 50–66. <https://doi.org/10.1080/10615806.2018.1528528>
28. The psychological impact of quarantine and how to reduce it: rapid review of the evidence / Brooks S.K., Webster R.K., Smith L.E., Woodland L., Wessely S., Greenberg N., Rubin G.J. // *The Lancet*. 2020. Vol. 395, Issue 10227, pp. 912–920. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30460-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30460-8)

29. The psychological impact of the COVID-19 epidemic on college students in China / Cao W., Fang Z., Hou G., Han M., Xu X., Dong J., Zheng J. // *Psychiatry Research*. 2020. N287. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2020.112934>
30. Vindegaard N., Benros M.E. COVID-19 pandemic and mental health consequences: Systematic review of the current evidence // *Brain, Behavior, and Immunity*. 2020. N89. pp. 531–542. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2020.05.048>
31. Weinstien N.D. Unrealistic optimism about future life events // *Journal Personality and Social Psychology*. 1980. Vol. 39, N 5. pp. 806–820. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.39.5.806>
32. Zhen L., Nan Y., Pham B. College students coping with COVID-19: stress-buffering effects of self-disclosure on social media and parental support // *Communication Research Reports*. 2021. Vol. 38, N 1. pp. 1–10. <https://doi.org/10.1080/08824096.2020.1870445>

References

1. Antsyferova L.I. Lichnost' v trudnykh zhiznennykh usloviyakh: pereosmyshlvanie, preobrazovanie situatsiy i psikhologicheskaya zashchita [Personality in difficult living conditions: rethinking, transformation of situations and psychological defense]. *Psikhologicheskii zhurnal*, 1994, vol. 15, no 1, pp. 3–19.
2. Belinskaya E.P. Coping with challenges in the era of new information technologies: opportunities and limitations. *Psikhologicheskie Issledovaniya. Current Issue Articles: Journal Editorial Board*, 2014. vol. 7, no 38. URL: <http://psystudy.ru/index.php/num/2014v7n38/1061-belinskaya38.html> (accessed December 18, 2020).
3. *Izovy pandemii COVID-19: psikhicheskoe zdorov'e, distantsionnoe obrazovanie, internet-bezopasnost': sb. materialov*. [Challenges of the COVID-19 pandemic: mental health, distance education, Internet security: a collection materials]. Ed. V.V. Rubtsov, A.A. Margolis, I.V. Vachkov, O.V. Vikhristyuk, N.V. Dvoryanchikov, T.V. Ermolova, Yu.M. Zabrodin, N.N. Tolstykh, A.V. Khaustov, A.B. Kholmogorova, A.A. Shvedovskaya. M.: Izdatel'stvo FGBOU VO MGPPU, 2020. 480 p.
4. Zhdanov R.I., Kupriyanov R.V., Syromyatnikova V.Y., Zhdanova S.I., Dvoenosov V.G. Korrelyatsiya lichnostnoy i situatsionnoy trevozhnosti s parametrami sistemy gomeostaza pri ekzamenatsionnom stresse [Correlation between trait and state anxiety and hemostatic parameters under examination stress]. *Psikhologiya stressa i sovladayushchego povedeniya: resursy, zdorov'e, razvitie. Materialy IV Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii*. Kostroma, 22–24 sentyabrya 2016, vol.1. pp. 107–110.

5. Ledovskaya T.V., Biryukova D.A. Vzaimosvyaz' sovladayushchego povedeniya i pokazateley trevozhnosti u studentov vuza [Correlation of Coping-Behavior and Indicators of Uneasiness of Students of Higher Education]. *Yaroslavskiy pedagogicheskiy vestnik* [Yaroslavl Pedagogical Bulletin]. 2017, no. 2, pp. 233–237. http://vestnik.yspu.org/releases/2017_2/44.pdf
6. Matsumoto D. *Psikhologiya i kul'tura* [Culture and psychology]. SPb.: Piter, 2003. 718 p.
7. Nartova-Bochaver S.K. «Coping behavior» v sisteme ponyatiy psikhologii lichnosti [“Coping behavior” in the system of personal psychology concepts]. *Psikhologicheskii Zhurnal*. 1997. vol. 18. no 5. pp. 20–29.
8. Rasskazova E.I., Gordeeva T.O. Koping-strategii v psikhologii stressa: podkhody, metody i perspektivy issledovaniy [Coping strategies the psychology of stress: approaches, methods, perspectives]. *Psikhologicheskie Issledovaniya*. 2011. no. 3(17). <http://psystudy.ru/index.php/num/2011n3-17/493-rasskazova-gordeeva17.html> (accessed January 16, 2021).
9. Rasskazova E.I., Leontiev D.A., Lebedeva A.A. Pandemic as a Challenge to Subjective Well-Being: Anxiety and Coping. *Konsul'tativnaya psikhologiya i psikhoterapiya* [Counseling Psychology and Psychotherapy], 2020. vol. 28, no. 2, pp. 90–108. DOI: <https://doi.org/10.17759/cpp.2020280205>.
10. *Uroki «Stress-testa»: vuzy v usloviyakh pandemii i posle nee. Analiticheskiy doklad* [Lessons from the “Stress test”: universities in a pandemic and after it. Analytical report.]. Ed. K.A. Barannikov, O.V. Leshukov, O.L. Nazaykinskaya, E.A. Sukhanova, I.D. Frumin]. M.: NIU HSE, 2020, 52 p.
11. Khachaturova M.R. Sovladayushchiy repertuar lichnosti: obzor zarubezhnykh issledovaniy [Coping repertoire of personality: a review]. *Psikhologiya. Zhurnal Vyshey shkoly ekonomiki* [Psychology. Journal of the Higher School of Economics], 2013, vol. 10, no 3, pp. 160–169. <https://psy-journal.hse.ru/2013-10-3/91972114.html>
12. Wrosch C., Scheier M.F., Miller G.E., Schulz R., Carver C.S. Adaptive self-regulation of unattainable goals: Goal disengagement, goal reengagement, and subjective well-being. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 2003, vol. 29, no. 12, pp. 1494–1508. <https://doi.org/10.1177/0146167203256921>
13. Vitaliano P.P., DeWolfe D.J., Maiuro R.D., Russo J., Katon W. Appraised changeability of a stressor as a modifier of the relationship between coping and depression: A test of the hypothesis of fit. *Journal of Personality and Social Psychology*, 1990, vol. 59, no. 3, pp. 582–592. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.59.3.582>
14. Fuente J., Paoloni P., Kauffman D., Yilmaz-Soylu M., Sander P., Zapata L. Big five, self-regulation, and coping strategies as predictors of achievement emotions

- in undergraduate students. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17, no. 10. <https://doi.org/10.3390/ijerph17103602>
15. Blankstein K.R., Flett G.L., Watson M.S. Coping and academic problem-solving ability in test anxiety. *Journal of Clinical Psychology*, 1992, vol. 48, no. 1, pp. 37–46. [https://doi.org/10.1002/1097-4679\(199201\)48:1%3C37::aid-jclp2270480105%3E3.0.co;2-f](https://doi.org/10.1002/1097-4679(199201)48:1%3C37::aid-jclp2270480105%3E3.0.co;2-f)
 16. Gurvich C., Thomas N., Thomas E. Hudaib A., Sood L., Fabiatos K., Sutton K., Isaacs A., Arunogiri S. Coping styles and mental health in response to societal changes during the COVID-19 pandemic. *International Journal of Social Psychiatry*, October 4, 2020. <https://doi.org/10.1177/0020764020961790>
 17. Hobfoll S.E. *The ecology of stress*. Taylor & Francis. 1988. 354 p.
 18. Kislyakov P.A. Psychological resistance of student youth to information stress in the COVID-19 pandemic. *Perspektivynaukii obrazovania* [Perspectives of Science and Education], 2020, no. 5(47), pp. 343–356. <https://doi.org/10.32744/pse.2020.5.24>
 19. Lasarus R., Folkman S. *Stress, Appraisal and Coping*. New York: Springer, 1984. 460 p.
 20. Leung L. Unwillingness-to-communicate and college students' motives in SMS mobile messaging. *Telematics and Informatics*, 2007, vol. 24, no. 2, pp. 115–129. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2006.01.002>
 21. Lewis R., Frydenberg E. Concomitants of failure to cope: What we should teach adolescents about coping. *British Journal of Educational Psychology*, 2002, vol. 72, no. 3, pp. 419–431. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1348/000709902320634483>
 22. Marriage K., Cummins R.A. Subjective Quality of Life and Self-Esteem in Children: The Role of Primary and Secondary Control in Coping with Everyday Stress. *Social Indicators Research*, 2004, vol. 66, no. 1-2, pp. 107–122. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1023/B:SOCI.0000007493.32548.0c>
 23. Nakano K. Coping strategies and psychological symptoms in a Japanese sample. *Journal of Clinical Psychology*, 1991, vol. 47, no. 3, pp. 346–350. [https://doi.org/10.1002/1097-4679\(199105\)47:3%3C346::AID-JCLP2270470304%3E3.0.CO;2-H](https://doi.org/10.1002/1097-4679(199105)47:3%3C346::AID-JCLP2270470304%3E3.0.CO;2-H)
 24. Hasanah U. Ludiana L., Immawati I., Livana PH. Psychological Description of Students in the Learning Process During Pandemic Covid-19. *Jurnal Keperawatan Jiwa*, 2020, vol. 8, no. 3, pp. 299–306. <https://doi.org/10.26714/kj.8.3.2020.299-306>
 25. McInnis O.A., McQuaid R.J., Matheson K., Anisman H. Relations between plasma oxytocin, depressive symptoms and coping strategies in response to a stressor: the impact of social support. *Anxiety, Stress, & Coping*, 2017, vol. 30, no. 5, pp. 575–584. <https://doi.org/10.1080/10615806.2017.1333604>

26. Skinner E.A., Zimmer-Gembeck M.J. *The development of coping: Stress, neurophysiology, social relationships, and resilience during childhood and adolescence*. Cham, Switzerland: Springer International. 2016. 355 p.
27. Ringeisen T., Lichtenfeld S., Becker S., Minkley N. Stress experience and performance during an oral exam: the role of self-efficacy, threat appraisals, anxiety, and cortisol. *Anxiety, Stress, & Coping*, 2019, vol. 32, no. 1, pp. 50–66. <https://doi.org/10.1080/10615806.2018.1528528>
28. Brooks S.K., Webster R.K., Smith L.E., Woodland L., Wessely S., Greenberg N., Rubin G.J. The psychological impact of quarantine and how to reduce it: rapid review of the evidence. *The Lancet*, 2020, vol. 395, no. 10227, pp. 912–920. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30460-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30460-8)
29. Cao W., Fang Z., Hou G., Han M., Xu X., Dong J., Zheng J. The psychological impact of the COVID-19 epidemic on college students in China. *Psychiatry Research*, 2020, no. 287. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2020.112934>
30. Vindegaard N., Benros M.E. COVID-19 pandemic and mental health consequences: Systematic review of the current evidence. *Brain, Behavior, and Immunity*, 2020, no. 89, pp. 531–542. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2020.05.048>
31. Weinstien N.D. Unrealistic optimism about future life events. *Journal Personality and Social Psychology*, 1980, vol. 39, no. 5, pp. 806–820. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.39.5.806>
32. Zhen L., Nan Y., Pham B. College students coping with COVID-19: stress-buffering effects of self-disclosure on social media and parental support. *Communication Research Reports*, 2021, vol. 38, no. 1, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1080/08824096.2020.1870445>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Климацкая Людмила Георгиевна, доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры социальной педагогики и социальной работы,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева»
ул. Ады Лебедевой, 89, г. Красноярск, 660049, Российская Федерация
klimatskaya47@mail.ru

Дьячук Анна Анатольевна, кандидат психологических наук, доцент, доцент кафедры психологии

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева»
ул. Ады Лебедевой, 89, г. Красноярск, 660049, Российская Федерация
danna@kspu.ru*

Бочарова Юлия Юрьевна, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры социальной педагогики и социальной работы
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева»
ул. Ады Лебедевой, 89, г. Красноярск, 660049, Российская Федерация
bjulija1305@yandex.ru*

Шпаков Андрей Иванович, кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры теории физической культуры и спортивной медицины
*Гродненский государственный университет им. Янки Купалы
ул. Ожешко, 22, г. Гродно, 230023, Республика Беларусь
shpakoff@tut.by*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Liudmila G. Klimatchkaia, Doctor of Medicine Science, Professor, Professor of the Department of Social Pedagogy and Social Work
*Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafiev
89, Ada Lebedeva Str., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation
klimatskaya47@mail.ru
SPIN-code: 3839-1097
ORCID: 0000-0001-8926-2901*

Anna A. Dyachuk, Candidate of Psychology Science, Associate Professor, Associate Professor of Department of psychology
*Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafiev
89, Ada Lebedeva Str., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation
danna@kspu.ru
SPIN-code: 6821-8976*

Julia Ju. Bocharova, Candidate of Pedagogy Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Social Pedagogy and Social Work
Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafiev
89, Ada Lebedeva Str., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation
bjulija1305@yandex.ru
SPIN-code: 5386-4942
ORCID: 0000-0001-8626-7977

Andrei I. Shpakou, Candidate of Medicine Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Theory of Physical Culture and Sports Medicine
Yanka Kupala State University of Grodno
22, Ozheshko Str., Grodno, 230023, Republic of Belarus
shpakoff@tut.by
SPIN-code: 3183-3639
ORCID: 0000-0003-4340-5211

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ И СООБЩЕНИЯ

SCIENTIFIC REVIEWS AND REPORTS

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-303-335

УДК 577.11

МЕТААНАЛИЗ АССОЦИАЦИИ ПОЛИМОРФИЗМА ГЕНА MSTN RS1805086 С СИЛОВЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ СПОРТСМЕНОВ

М.О. Аксенов

Обоснование. Варианты K/R гена миостатина (MSTN) (rs1805086) связаны с количеством мышечной массы у людей и ответной реакцией организма человека во время силовых тренировок, коррелируют с показателями силовых способностей скелетных мышц спортсменов. Тем не менее недостаточно достоверных данных, чтобы продемонстрировать, являются ли аллельные варианты K и R гена MSTN rs1805086 действительно генетическими факторами, которые могут влиять на силовые показатели скелетных мышц спортсменов и количество мышечной массы.

Цель. Провести систематический обзор и сделать метаанализ ассоциации полиморфизма гена MSTN rs1805086 с силовыми показателями спортсменов.

Материалы и методы. В проведенном исследовании проанализирована 71 научная публикация о миостатине и проведен метаанализ генотипа MSTN K153R rs1805086 у спортсменов тяжелоатлетических видов спорта и контрольной группой.

Результаты. Установлено, что у спортсменов экспериментальной группы более высокая частота минорного аллеля R по сравнению с контрольной (ОШ=2.02, P = 0,05).

Заключение. Таким образом, полученные результаты убедительно демонстрируют, что имеется связь между исследуемым полиморфизмом и силовыми показателями спортсменов, следовательно, дальнейшие попытки ее изучения научно обоснованы.

Ключевые слова: миостатин; мышцы; сила; гипертрофия; гиперплазия; тренировка; K153R; MSTN; GDF-8; rs1805086; метаанализ

Для цитирования: Аксенов М.О. Метаанализ ассоциации полиморфизма гена MSTN rs1805086 с силовыми показателями спортсменов // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 2. С. 303-335. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-303-335

METAANALYSIS OF MSTN RS1805086 GENE POLYMORPHISM ASSOCIATION WITH STRENGTH INDICATORS OF ATHLETES

M.O. Aksenov

Rationale. K/R variants of myostatin gene (MSTN) (rs1805086) are connected with the amount of muscle mass in humans and the response of human body during strength training, they also correlate with the indicators of strength abilities of skeletal muscles of the athletes. However, there are not enough reliable data to demonstrate whether K and R allelic variants of the MSTN rs1805086 gene are valid genetic factors that can affect strength indicators of athletes' skeletal muscles and the amount of muscle mass.

The purpose. To conduct a systematic review and metaanalysis of the association of the MSTNrs1805086 gene polymorphism with the strength indicators of the athletes.

Materials and methods. The study under consideration has analyzed 71 research articles on myostatin and performed a metaanalysis of MSTN K153R rs1805086 K/R genotype in weightlifting athletes and in a control group.

The results. It was found out that the athletes of an experimental group had a higher frequency of R minor allele in comparison to the control group (OR = 2.02, P = 0.05).

Conclusion. Thus, the results obtained convincingly demonstrate that there is a connection between the studied polymorphism and the strength indicators of athletes, therefore, further attempts to study it are scientifically proven.

Keywords: myostatin; muscle; strength; hypertrophy; hyperplasia; training; metaanalysis

For citation. *Aksenov M. O. Metaanalysis of MSTNrs1805086 gene polymorphism association with strength indicators of athletes. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 303-335. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-303-335*

История открытия

Наряду со спортивной тренировкой, воздействием окружающей среды, питанием и профессиональной деятельностью человека большое влияние на силовые показатели скелетных мышц спортсменов также оказывают генетические факторы [1]. Изучение генетических основ развития силовых способностей спортсменов – полиморфизмов генов и их связей с резистентностью организма к физическим нагрузкам в целом – вполне обоснованно следует рассматривать как одну из важных и значимых областей современной науки о спорте [2].

Значительным успехом в изучении генетических факторов увеличения мышечной массы и развития силовых способностей можно считать обнаруженный в 1997 году белок миостатин, который кодируется геном MSTN, расположен в 2 хромосоме 2q32.2, кодирует 375 аминокислот в трех экзонах и занимает участок около 8 kb [3].

Этот ген был назван миостатином за его способность ингибировать дифференцировку и рост мышц [4], в то время как избыточная экспрессия миостатина связана с мышечной атрофией [5]. Вместе с тем эти исследования подтвердили центральную, критическую роль миостатина в подавлении роста мышц [6, 7].

Особый интерес к миостатину возник в связи с тем, что уже в самых первых публикациях, посвященных этому фактору, был сделан вывод о том, что отсутствие миостатина влияет на увеличение мышечной массы за счет гипертрофии и гиперплазии мышечных волокон [8]. Интерес к изучению миостатина виден по динамике публикаций, в которых изложено детальное изучение как самого миостатина, так и возможностей использования обнаруженного феномена в различных биомедицинских и спортивных целях, включая генный допинг [9].

Способность миостатина ограничивать рост мышечной массы сразу привлекло внимание исследователей в качестве потенциальной мишени для применения в спорте и спортивной медицине.

Миостатин, также известный как фактор дифференцировки роста-8 (GDF-8), представляет собой гормон белковой природы, действующий как негативный регулятор роста мышц. Впервые об этом было сказано в рабо-

те McPherron [10] и др. Авторы обнаружили, что мутация в гене миостатина приводит к увеличению размеров мышечной ткани. Эти исследования на начальных этапах в основном были проведены на животных, а позже на людях. Особый интерес к миостатину вызван в области спорта, где изучается его связь со спортивными результатами особенно в таких видах спорта, где требуется мышечная сила и масса [10].

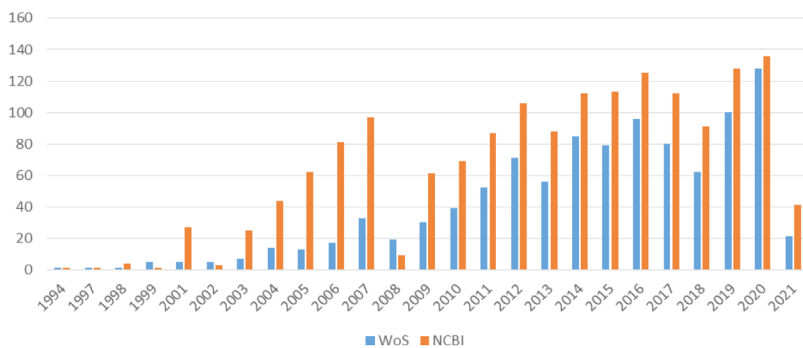


Рис. 1. Динамика публикаций по миостатину (данные на апрель 2021 г.)

Было установлено, что мутации в миостатиновом гене приводят к значительному увеличению мышечной массы [11]. Он является важным геном, влияющим на миогенез, его роль заключается в регуляции роста и дифференцировки в мышечных клетках [12]. В частности, генетическая предрасположенность к набору мышечной массы обусловлена низкой экспрессией миостатина и является преимуществом в проявлении силовых способностей [13].

В спорте скелетные мышцы имеют большое значение [14]. Поскольку миостатин наиболее распространен в скелетных мышцах, то его изучение вызывает большой интерес с точки зрения спортивной науки. Однако его экспрессия была отмечена также в сердечной мышце и жировой ткани [15, 16].

Растущий интерес к миостатину отражен в большом количестве опубликованных научных работ, представленных в базе Web of Science и PubMed, из которых больше трети работ издано с января 2003 г. (рис. 1). Обзор литературы подтверждает роль миостатина как эндогенного отрицательного регулятора массы скелетных мышц, действующего в качестве антианаболического агента, подавляющего мышечные сателлитные клет-

ки, их активацию и репликацию, а также синтез ДНК и белка, что воздействует на миогенную дифференцировку [18].

Исследователи из Тайваня установили, что миостатин отрицательно коррелировал с возрастом и процентом жировой массы у здоровых молодых мужчин [19]. Результаты экспериментов позволили доказать, что референсное значение концентрации миостатина в сыворотке крови у здоровых молодых мужчин составляет $12,3 \pm 3,6$ нг / мл и отрицательно коррелирует с возрастом [20].

Большое внимание заслуживают факторы, способствующие ингибированию экспрессии миостатина, к таким факторам, по данным литературных источников, можно отнести гиподинамию, заболевания различного генеза, состояние невесомости и старение [9, 21]. На уровень миостатина в скелетных мышцах также оказывают влияние физические упражнения силовой направленности [22].

Ингибиторы миостатина

Существует ряд факторов, действующих в качестве ингибиторов синтеза миостатина, к ним относятся фактор усиления миоцитов 2 (MEF2), гамма-рецептор, активируемый пролифератором пероксисом (PPAR γ), MyoD, а также гормоны: инсулиноподобный фактор роста (IGF-1), ангиотензин II, гормоны щитовидной железы, эритропоэтин [23], половые стероиды: фоллистатин и эстрадиол [24].

Одними из основных факторов в спорте, существенно влияющими на уровень миостатина, являются физические нагрузки силовой направленности, гипоксия и пищевые добавки. Более того, на выработку миостатина влияют незаменимые аминокислоты, которые часто принимают спортсмены после интенсивных тренировок [25].

В настоящее время привлекает внимание исследование антител к миостатину, например MYO-029, BYM338, однако их эффективность малоизучена [26, 27]. Помимо антител другие ингибиторы миостатина, такие как, например, гормон фоллистатин, также способны подавлять его активность [28-30].

Недавно проведенные исследования доказали, что незаменимые аминокислоты способны подавлять экспрессию миостатина в скелетных мышцах человека [31, 32].

В спорте высших достижений ингибирование миостатина запрещено ВАДА (<https://www.wada-ama.org/en/prohibited-list/prohibitedat-all-times/hormone- and-metabolic-modulators>).

Из-за большого количества скелетных мышц и функций миокинов миостатин представляет собой потенциальный генетический маркер спортивных способностей в силовых видах спорта. Некоторые исследования, связанные с изучением миостатина и его связей между гипертрофией и силой скелетных мышц, кажутся противоречивыми [21, 33, 34]. Вот почему в нашем исследовании мы обратили внимание на данные, касающиеся влияния генотипа K153R rs1805086 на проявление силы скелетных мышц у спортсменов.

Механизм действия миостатина на массу и силу скелетных мышц

Известно, что физическая нагрузка приводит к гипертрофии мышц. Это ярко выражено при выполнении физических нагрузок силовой направленности. Данный вид упражнений вызывает механическое повреждение саркомеров и сарколеммы. Спустя определенный промежуток времени баланс смещается в сторону синтеза белка, как следствие, происходят фенотипические изменения скелетных мышц – увеличиваются объем и мышечная сила. В этих процессах выделяется активный миостатин, который действует на сателлитные клетки и фибробласты, находящиеся рядом с поврежденной зоной. Миостатин может вызывать деградацию белка в миофибриллах. Он важен для нормального функционирования мышечных волокон, так как он выводит из мышечной клетки ненужные, отработавшие белки [35].

Миостатин является одним из основных факторов мышечной атрофии. В исследованиях с участием людей установлено, что к 25-му дню неподвижного режима уровень миостатина повышается на 12%. Миостатин может регулировать работу не только мышечных волокон, но и близлежащих к ним клеток, к которым относятся фибробласты и клетки-спутники, или сателлиты. Зрелые мышечные волокна являются продуктом конечной дифференцировки.

Увеличение размеров мышц достигается благодаря слиянию пролиферирующих клеток-сателлитов с волокном. Стимулом для пролиферации клеток-сателлитов у взрослых организмов является прежде всего микротравма на уровне отдельного мышечного волокна. При активации клеток-сателлитов и выходе из состояния покоя в них начинают работать гены, характерные для миобластов. Так, клетки-сателлиты становятся миобластами, они мигрируют к поврежденным участкам мышечной ткани и в зависимости от степени повреждения или сливаются с поврежденным мышечным волокном (гипертрофия), или между собой, создавая новые

волокну (гиперплазия). Таким образом, клетки-сателлиты обеспечивают поддержание функционального состояния скелетных мышц взрослого организма. Они необходимы для восстановления поврежденных мышечных волокон и являются источником дополнительных ядер при гипертрофии мышц в результате тренировочных занятий. Доказано, что миостатин отрицательно влияет на пролиферацию клеток-сателлитов [36]. В ходе физической нагрузки силовой направленности происходит механическое растяжение мышцы и микрповреждение. Есть также данные о том, что миостатин негативно регулирует активацию покоящихся сателлитных клеток, не давая им развиваться. Такое тормозное действие необходимо для нормального процесса мышечной регенерации, поскольку преждевременное слияние сателлитных клеток с миофибриллами может привести к нарушению функционирования мышечного волокна (рис. 2).

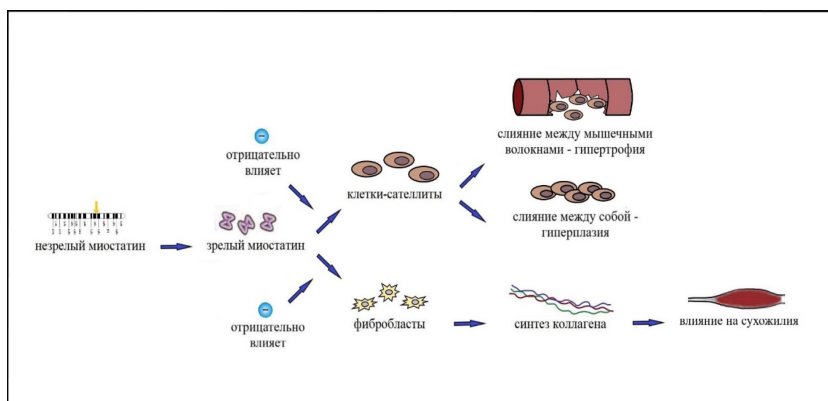


Рис. 2. Молекулярные механизмы силовых способностей спортсменов

В целом нужно отметить, что механизм, с помощью которого миостатин контролирует количество мышечных волокон, малоизучен. Он синтезируется как неактивный белок и переходит в активную зрелую форму двумя этапами [17]. Миостатин попадает в кровоток как латентный белок-предшественник, а затем подвергается протеолитическому процессу, превращаясь в зрелый пептид, который связывается с рецептором внеклеточного активина типа II (ActRIIB). Связывание миостатина с ActRIIB индуцирует внутриклеточную активацию белков, посредством этого пути миостатин модулирует пролиферацию и дифференцировку миобластов и в конечном итоге мышечную массу [31, 37, 38].

Влияние миостатина на сухожилия и кости

Важным компонентом в проявлении максимальных силовых способностей скелетных мышц являются сухожилия. У спортсменов тяжелоатлетических и скоростно-силовых видов спорта, обладающих высокими показателями силы скелетных мышц, часто встречаются травмы сухожилий по причине того, что сила мышц превышает их прочность. При тренировке с силовыми физическими нагрузками происходит пролиферация фибробластов, а также увеличение синтеза коллагена и, соответственно, увеличение площади поперечного сечения сухожилий, сопровождающееся возрастанием их жёсткости. Это позволяет сухожилиям выдерживать физические нагрузки высокой интенсивности и уменьшает риск повреждения сухожилий [39].

Миостатин может изменять механических свойства сухожилий, а именно: ухудшает их способность к растяжению, что увеличивает риск их повреждения. Такие данные подвергают сомнению целесообразность ингибирования миостатина в спортивных целях [36]. Точные механизмы влияния миостатина на сухожилия и связки пока неизвестны, необходимы дальнейшие исследования для оценки регулирующей роли миостатина в этих процессах [40]. При изучении регенерации мышц и фибробластов сухожилий предполагается, что миостатин влияет на экспрессию коллагена 1-го типа. В недавних исследованиях сообщалось, что локальные инъекции экзогенного миостатина во время заживления сухожилий увеличивают площадь поперечного сечения сухожилия [41].

Как в исследованиях на людях, так и на животных имеются данные, свидетельствующие о том, что миостатин является важным регулятором не только мышечной массы, но и плотности костей. Механизмы, с помощью которых миостатин регулирует формирование кости, не совсем понятны, но ясно, что миостатин оказывает прямое влияние на пролиферацию и дифференцировку стволовых клеток [42, 43], миостатин и его рецептор экспрессируются во время регенерации кости [43]. Таким образом, миостатин является фактором, влияющим на формирование плотности костей. Повышенная минеральная плотность костной ткани, возможно, является прямым эффектом влияния миостатина на кости. Хотя некоторые особенности фенотипов могут быть связаны с повышенной биомеханической нагрузкой, например, у спортсменов-тяжелоатлетов или воздействием других факторов, например, механического фактора роста или гормона роста. Эти вопросы предстоит еще изучить более детально, но если в ряде исследований будет доказано,

что миостатин действительно оказывает влияние на кости, то можно предположить, что ингибиторы миостатина будут полезны не только для увеличения мышечной массы, но и плотности костей. Это предположение подтверждается недавними данными, показывающими, что миостатин значительно увеличивает объем кости при заживлении малоберцовой кости [44].

Мутации миостатина

В ранее проведенных исследованиях было установлено, что ряд миссенс-замен в экзонах 1 и 2 гена миостатина вызывает наибольший интерес для подтверждения связи с силовыми способностями спортсменов, мышечной гипертрофией [45] и восстановлением после интенсивных силовых физических упражнений. Особый интерес этого гена представляют собой полиморфизмы K153R, A55T, E164K, P198A, I225T и c.373 + 5 [21, 46, 47].

Мутация MSTN (rs397515373, c.373 + 5 G>A)

Эта мутация очень редко встречается, в среднем 0,0004% в популяции. Надо взять выборку 500 000 человек, чтобы найти мутацию у кого-нибудь. В 2004 г. была опубликована работа, в которой был описан случай мутации гена миостатина у ребенка [48]. В обеих копиях гена миостатина у новорожденного мальчика были мутации, подавляющие синтез функционирующего белка миостатина. У этого ребенка наблюдали увеличенные мышцы бедер и верхних конечностей уже при рождении. Исследование этого ребенка методом ультразвукографии показало, что поперечное сечение четырехглавой мышцы бедра составляла 7,2 SD, что было выше среднего (\pm стандартное отклонение) значения для 10 лиц, совпадающих по возрасту и полу с данным ребенком). Более того, толщина его подкожно-жировой клетчатки была на 2,88 стандартного отклонения ниже среднего значения по сравнению со сверстниками. Все рефлексы у ребенка были в норме, кроме тех, которые связаны с сухожилиями. Интересно, что эта мутация присутствовала и у других членов этой семьи. Один из родственников обладал необычайной силой, а 24-летняя мать ребенка была профессиональным атлетом и имела развитую мускулатуру, хотя и в меньшей степени, чем у сына. В данной работе впервые было показано, что мутация MSTN rs397515373 (c.373 + 5 G>A) приводит к росту мышечной массы и силы [49, 50].

Мутация MSTN A55T (rs180565, 163 G> A)

A55T играет важную роль для стабильности ингибирующей активности миостатина и влияет на зрелый миостатин [51].

В исследовании, посвященном физическим упражнениям, сообщалось, что испытуемые с генотипами АТ и ТТ полиморфизма А55Т имели большую мышечную гипертрофию, чем АА, после 8 недель упражнений с отягощениями [52]. Проведенные исследования показали, что полиморфизмы миостатина можно рассматривать как факторы, влияющие на фенотип скелетных мышц после упражнений с отягощениями. Однако предыдущие исследования SNP миостатина, связанные с мышечной гипертрофией в ответ на длительные физические упражнения силовой направленности, не подтвердили ярко выраженной гипертрофии мышц после силовых физических нагрузок [53].

Исследования азиатской выборки (n=500) показали, что полиморфизм А55Т может влиять на активность миостатина и оказывать влияние не только на массу скелетных мышц, но и на количество жировой массы в организме. Как показали результаты экспериментов, полиморфизм А55Т определяет генетическую предрасположенность к развитию избыточного ожирения и низкой мышечной массы у азиатов [54].

Китайские ученые установили, что люди с генотипом АТ + ТТ полиморфизма А55Т MSTN показали значительное увеличение толщины двуглавой мышцы ($0,292 \pm 0,210$ см, $P = 0,03$), но не квадрицепса ($0,254 \pm 0,198$ см, $P = 0,07$), по сравнению с носителями генотипа АА. Таким образом, полученные результаты предполагают возможную связь между полиморфизмом А55Т и гипертрофией мышц, вызванной силовыми тренировками у китайцев [52].

Корейские исследователи выяснили, что полиморфизм А55Т связан с процессами восстановления скелетных мышц после силовых тренировок. Выборка испытуемых была следующей: 48 молодых здоровых студентов колледжа (возраст $24,8 \pm 2,2$ года, рост $176,7 \pm 5,3$ см, вес $73,7 \pm 8,3$ кг) были включены в исследование, в котором выполнялось 50 повторений в силовых упражнениях. Полиморфизм А55Т был классифицирован на гомозиготный аллель миостатина А55Т (АА, n = 34, 72%), гетерозиготный аллель миостатина А55Т (АТ, n = 13, 26%) и гомозиготные мутантные носители (ТТ, n = 1, 2%). После силовых упражнений испытуемые с гетерозиготной АТ показали заметно более быстрое восстановление мышц по сравнению с группой АА ($p = 0,042$). Эти результаты доказывают, что генотип АТ полиморфизма

A55T связан с более быстрым восстановлением силы скелетных мышц после интенсивных силовых физических упражнений [55].

Турецким ученым не удалось выявить связь полиморфизма A55T с морфологическими данными спортсменов-армрестлеров [56], но в то же время авторы повторили ранее проведенные исследования [52, 55]. Также статистически значимых связей не удалось обнаружить у высококвалифицированных спортсменов в видах спорта с проявлением выносливости [57, 58].

Мутация MSTN E164K rs35781413

В ряде исследований, связанных с изучением влияния этого генотипа на фенотип спортсменов и людей, не занимающихся спортом, не удалось получить статистически значимых различий по результатам экспериментов [59]. Это также связано с очень низкой частотой встречаемости данного генотипа у людей. По данным ресурса <http://www.ensembl.org>, средняя встречаемость редкого аллеля составляет 1%. Такая низкая аллельная частота, очевидно, ограничивает возможность изучения больших групп людей, имеющих минорный аллель [47].

Существуют только косвенные предположения, что данная мутация может влиять на проявление мышечной массы и силы у людей. Эти предположения основаны на том, что данный полиморфизм может вносить весомый вклад в биохимическую изменчивость зрелого миостатина и, соответственно, отражаться на состоянии мышечной системы позвоночных. Но данное предположение требует дальнейшего изучения [9].

Мутация MSTN K153R (rs1805086, Lys153Arg c.458 A>G)

Более того, генотип RR гена MSTN rs1805086 чаще встречается у спортсменов экстра-класса в тяжелоатлетических видах спорта [60]. Некоторые исследователи выявили положительную связь аллеля K153R rs1805086 с проявлением силовых способностей и мышечной гипертрофией [13, 46, 52, 61], в то время как другие исследователи не обнаруживали какой-либо существенной связи [34, 46, 62]. В некоторых работах была доказана связь с высокими показателями в прыжках в высоту [46]. Исследования связи между K153R и фенотипами скелетных мышц у пожилых женщин европеоидной расы показали, что гетерозигота MSTN rs1805086 KR является благоприятным генотипом при повышенной мышечной массе в двуглавой мышце плеча [63].

В исследованиях, проведенных с участием 16 женщин и 34 мужчин кавказской, афроамериканской, афро-европейской национальностей, которые участвовали на чемпионатах Европы и Олимпийских играх в таких видах спорта, как футбол ($n = 4$), баскетбол ($n = 10$), теннис ($n = 6$), волейбол ($n = 6$), гребля на каноэ ($n = 2$), регби ($n = 10$), бейсбол ($n = 6$) и легкая атлетика (спринт, копье и толкание ядра) ($n = 6$), по сравнению с контрольной группой из 100 человек, из которых 40 женщин и 60 мужчин не занимающихся спортом, автору не удалось найти статистически значимых различий между элитными спортсменами и контрольной группой в отношении аллеля K153 и успешности выступлений на соревнованиях [61].

Исследования, направленные на изучение связи миостатина с патологиями мышц у здоровых пожилых людей, имеют противоречивый характер [64]. Было установлено, что связь с низким уровнем миостатина и низкой массой скелетных мышц наблюдалась только у мужчин, но не у женщин. Авторы указывают на необходимость дальнейшего исследования миостатина как биомаркера мышечной массы и силы [21].

Частота встречаемости

По данным базы данных Ensembl, частота встречаемости редкого аллеля 153R в среднем составляет 7% (3% – у европейцев и 22% – у африканцев), для надежного выявления связи этого полиморфизма с силовыми способностями и гипертрофией мышц необходимы большие размеры выборки.

Проведенные исследования не всегда могли доказать наличие связи между силой скелетных мышц спортсменов, мышечной массой и соревновательными результатами [33, 62]. Из-за низкой частоты встречаемости полиморфизма K153R у спортсменов циклических видов спорта европейской выборки авторы указывают на возможность использования оценки полиморфизма MSTN K153R для спортивного отбора и необходимость дальнейшего изучения этой мутации.

Частота встречаемости полиморфизма K153R MSTN

Проблема исследований мутаций гена миостатина заключается в низкой частоте встречаемости некоторых аллелей. Для получения нужного количества испытуемых и статистически значимых данных необходимо, чтобы выборка была специфичной, например, это должны быть высококвалифицированные спортсмены тяжелоатлетических видов спорта или

люди с долей скелетных мышц выше среднестатистических значений [57]. К таким выборкам, например, можно также отнести некоторые нации людей с учетом места проживания [34].



Рис. 3. Частота встречаемости полиморфизма K153R MSTN, по данным базы Ensembl (*All* – Общая картина; *AFR* – African; *AMR* – American; *EAS* – Asian; *EUR* – European)

Проблемы формирования выборки

В связи с тем, что частота встречаемости аллеля MSTN K153R rs1805086 в среднем составляет 7%, это создает проблемы для обнаружения людей с редким генотипом [33]. Одним из факторов, существенно влияющим на ассоциацию генотипов миостатина с мышечной массой и силой скелетных мышц, является пол и возраст. Участники экспериментов для выявления влияния миостатина на мышечную массу и силу показывают разные результаты в зависимости от пола и возраста [65, 66].

Противоречивые данные также были получены в тех случаях, когда испытуемые были представителями разных видов спорта [57]. Влияние миостатина на проявление силы скелетных мышц зависит от направленности вида спорта. В группе видов спорта, где требуется способность длительно поддерживать заданную мощность физической нагрузки, статистически значимых данных об ассоциации полиморфизмов MSTN с мышечной массой и силой не было обнаружено [62].

В некоторых работах сообщалось, что женские эстрогены влияют на экспрессию миостатина, вызванного физическими упражнениями силовой направленности [65]. Кроме того, различия в этнической принадлежности, размере выборки, массе тела и уровне физической активности могут быть потенциальными причинами различных результатов в работах, связанных с исследованием миостатина [67]. Авторы указывают, что при

оценке уровня миостатина следует принимать во внимание факторы питания. Пол также является важным фактором снижения мышечной силы и возрастного уменьшения мышечной массы. Мужчины обычно начинают терять мышечную массу после 40 лет, когда уровень тестостерона в сыворотке падает. Женщины могут постепенно терять 10–15% своей мышечной массы в возрасте от 25 лет до наступления менопаузы, после чего ежегодно увеличивается до 2%. Поэтому на количество мышечной массы влияют также пол и диета.

Кроме того, в исследованиях часто в качестве объекта рассматривается конкретная мышца человека, например, бицепс или квадрицепс, и это тоже является ограничивающим фактором для полноценной оценки связи миостатина с мышечной массой и силой всего организма в целом.

Отсутствие контрольной группы в некоторых работах не позволяет решить проблему статистической мощности анализа полученных данных [56]. Для получения наиболее достоверных данных нужны выборки большего размера.

Наконец, после проведенного тестирования в силовых упражнениях исследователи учитывают лишь некоторые показатели мышечного утомления, следовательно, есть ограничение в подтверждении механизма связи между конкретными силовыми показателями, генотипом миостатина и мышечной силой. Следует отметить, что большая часть научных публикаций в основном опирается на предыдущие исследования [67-69].

Есть работы, в которых авторы приходят к выводу о том, что аллель K153R MSTN не оказывает влияния на мышечные фенотипы у женщин, но при этом выборка испытуемых у них составляет 33 человека в возрасте 90-97 лет, с учетом того, что этот аллель встречается очень редко результаты таких исследований представляются весьма сомнительными [21].

Таким образом, проведение систематического обзора публикаций, связанных с влиянием аллеля K153R гена миостатина, позволяет сделать вывод о том, что полученные данные можно расценивать как противоречивые. При таком несоответствии возникает вопрос о том, являются ли аллельные варианты K и R гена MSTN rs1805086 действительно генетическими факторами, которые могут влиять на силовые способности человека и гипертрофию скелетных мышц.

Метаанализ преодолевает ограничение малого размера выборки путем объединения результатов ряда отдельных исследований для получения единой наилучшей оценки.

МЕТААНАЛИЗ

Цель работы

Целью данного исследования является обобщение связи полиморфизма K153R с силовыми показателями спортсменов путем проведения систематического обзора и метаанализа, которые потенциально могут позволить выявить более статистически достоверные данные по сравнению с отдельными исследованиями.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Поиск литературы

Поиск научных публикаций проводился в базах данных PubMed, Web of Science, eLIBRARY.ru, SNPedia, Wiley Online Library, ресурс Europe PMC. Были использованы следующие ключевые слова для поиска публикаций: Myostatin, MSTN, GDF-8, K153R, rs1805086. Мы составили список публикаций по миостатину, в который вошла 71 научная статья, опубликованная до апреля 2021 г. в вышеуказанных базах данных. Для анализа и систематизации публикаций мы использовали библиографические менеджеры EndNote Viever X9.2 компании Clarivate Analytics и приложение Zotero. Кроме анализа содержания найденных публикаций мы также изучили списки литературных источников в них. После отбора всех потенциально подходящих статей был проведен анализ содержащихся в них сведений по аллелю K153R MSTN rs1805086 в контрольной и экспериментальной группах.

Критерии включения и исключения

Из 71 научной статьи в базах PubMed, Web of Science, eLIBRARY.ru, SNPedia, Ensembl, Wiley Online Library, ресурс Europe PMC мы отобрали публикации, которые были связаны непосредственно с изучением генотипа K153R (rs1805086). Во всех исследованиях, которые мы использовали, было указано: «Исследование было одобрено этическим комитетом».

Чтобы быть включенным в этот обзор, исследования должны были соответствовать следующим критериям:

1. Опубликованы с 1997 г. по апрель 2021 г.
2. Размер выборки не должен быть менее 10 человек, обязательно наличие в исследовании контрольной группы.
3. Полный текст должен быть доступен.
4. Участниками должны быть взрослые люди не пожилого возраста.
5. Субъекты должны были быть здоровыми людьми в момент исследования.

6. Исследования не должны быть проведены на животных.

Из 71 научной статьи 61 была исключена после первого этапа работы с базами данных. Критериями отклонения работ явились несоответствие названия публикации предмету исследования, эксперименты на животных и эксперименты с маленькой выборкой. Основным критерием отсева публикаций на первом этапе явилось то, что работы не были связаны с полиморфизмом K153R MSTN.

После анализа девяти полнотекстовых публикаций шесть были исключены после второго этапа. Эти статьи были посвящены либо экспрессии миостатина, либо в них было неадекватное методологическое качество экспериментов. В итоге, 4 публикации [13, 56, 61, 70] были включены в метаанализ. Блок-схема, показывающая алгоритм выбора публикаций для мета-анализа отражена на рисунке 4.

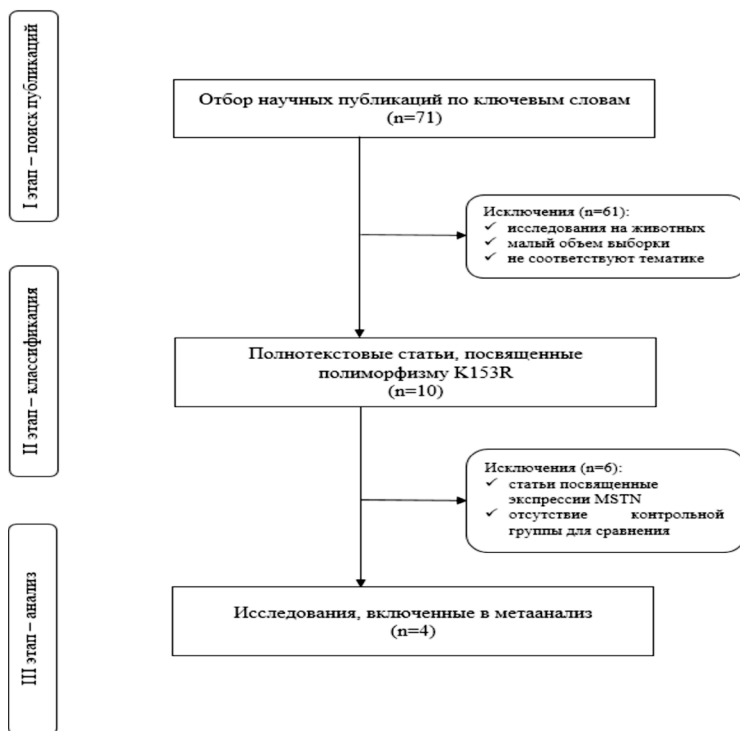


Рис. 4. Блок-схема, представляющая алгоритм выбора публикаций, включенных в метаанализ

Извлечение данных

Чтобы определить включение публикации в метаанализ, был изучен полный текст каждой работы на предмет общего содержания и соответствия критериям приемлемости, изложенным ранее. Следующие данные были получены из каждой подходящей статьи: авторы, год публикации, организация исследования, изучаемая популяция (количество испытуемых, этническая принадлежность, пол), номер и название полиморфизма, мышечный фенотип.

Фенотипическими данными, включенными в данный анализ, были скелетная мышечная масса, мышечная сила.

Статистический анализ

Мы использовали компьютерную программу Review Manager 5.4.1 (RevMan) для выполнения метаанализа, предложенную Кокрановским сообществом в 2014 году. В метаанализе были использованы данные о количестве генотипов в контрольной и экспериментальной группах. Для проверки «публикационной ошибки» (систематической ошибки, связанной с преимущественной публикацией положительных результатов) мы использовали анализ асимметрии воронкообразного графика [71]. Связь между полиморфизмом K153R и фенотипическими данными, а также силовыми способностями испытуемых оценивали по критерию отношение шансов (ОШ) и 95%-ным доверительным интервалом (ДИ), сравнивая контрольную и экспериментальные группы между собой. Гетерогенность полученных данных оценивалась по показателю гетерогенности I^2 [72]. В тесте на общий эффект, который задавали по Z-критерию, значимыми считали двустороннее значение $P < 0,05$.

Мы также провели анализ статистической значимости каждого исследования, включенного в метаанализ, чтобы сравнить значимость этого исследования с обобщенными показателями. Степень статистической значимости каждого исследования оценивали по «Хи-квадрат критерию (χ^2)», при котором значения $P < 0,05$ считались статистически значимыми. Статистический анализ по χ^2 -критерию проводился с использованием программного обеспечения SPSS 23.0.

Исходя из того, что в некоторых публикациях результаты генотипирования испытуемых были выражены в нуклеотидах, а в других работах авторы указывают на аминокислоты, при метаанализе мы использовали следующие обозначения: аминокислота «Lys» обозначалась буквой «K», а «Arg» - буквой «R». Таким образом, мутантный аллель обозначался буквой «R».

Результаты

Как указывалось ранее, частота мутантных гомозигот (RR) ниже 1% среди обычного населения, что безусловно ограничивает возможность изучения больших групп людей, имеющих вариант R. В то же время частота мутантного аллеля R, по данным Ensembl, в среднем составляет около 3–4% среди обычного населения Земли. Среди спортсменов силовых и тяжелоатлетических видов спорта частота встречаемости минорного аллеля R и гомозиготы RR существенно выше и может достигать 10% [70].

В этом исследовании мы установили, что спортсмены, имеющие аллель R MSTN, отличаются достоверно большей мышечной силой и массой, вызванной физическими тренировками силовой направленности, по сравнению с носителями аллеля K MSTN. Это указывает на то, что наличие аллеля R гена MSTN rs1805086 можно рассматривать как генетический маркер, ассоциированный с повышенной силой скелетных мышц и мышечной массой (ОШ=2.02, P = 0.05).

Обсуждение

Исследование случай – контроль

В контрольной группе афроамериканских спортсменов частота генотипа RR rs1805086 присутствовала в 2–3% случаев по сравнению с контрольными группами российских и кавказских выборок. Гетерозигота KR в контрольных группах афроамериканцев также встречалась чаще, чем в российских контрольных группах (таблица 1). Кроме того, генотипы rs1805086 KR / RR встречались значительно чаще также в афроамериканских выборках спортсменов (35 и 14% против 13,0 и 7,1% соответственно) (таблица 2).

Таблица 1.

**Распределение частот аллелей K153R MSTN
в группах спортсменов и контроля**

Исследование	Спортсмены				Контроль				χ^2 P
	генотип			n	генотип			n	
	KK	KR	RR		KK	KR	RR		
[13]	39	3	0	42	33	0	0	33	-
	13	7	0	20	9	6	3	18	0.157
[61]	43	7	0	50	92	6	2	100	0.166
[73]	120	4	14	138	99	4	0	103	0.004*
[74]	149	16	1	166	99	4	0	103	0.155
Обобщенные данные	364	37	15	416	332	20	5	357	0.030*

* P < 0,05 статистически значимые различия частоты аллеля R между спортсменами и контрольной группой

Таблица 2.

Распределение генотипов K153R MSTN в группах спортсменов и контроля

группа	Спортсмены				Контроль				χ^2 P	ссылка
	генотип			n	генотип			n		
	KK	KR/RR	(%)		KK	KR/RR	(%)			
Кавказцы	39	3	(7.1%)	42	33	0 (-)	33	0.118	[13]	
Афроамериканцы	13	7	(35.0%)	20	9	9 (50.0%)	18	0.700		
Кавказцы, афроамериканцы и маори	43	7	(14.0%)	50	92	8 (8.0%)	100	0.249	[61]	
Восточные русские	120	18	(13.0%)	138	99	4 (3.9%)	103	0.015*	[73]	
Западные русские	149	17	(10.2%)	166	99	4 (3.9%)	103	0.059	[74]	
Обобщенные данные	364	52	(12.5%)	416	332	25 (7.9%)	357	0.011*		

* $P < 0,05$ статистически значимые различия частоты генотипов KR / RR между спортсменами и контрольной группой

Проверка статистической значимости полученных данных по χ^2 -критерию при анализе каждой выборки отдельно не показала наличия статистически значимых данных, за исключением российской выборки 2017 г. [70], однако обобщение данных позволило получить статистически значимые данные: $P=0,030$ при анализе генотипов KK, KR и RR, и $P=0,0011$ при анализе генотипов KK и KR/RR.

При поиске литературы по нескольким базам данных найдено четыре подходящих исследования, в которых спортсмены тяжелоатлетических видов спорта сравнивались с контрольной группой. Признаком для сравнения был полиморфизм K153R MSTN. После объединения данных из найденных исследований группа спортсменов, имеющих редкий аллель R, составила 52 человека, а в группе контроля это количество составило 25 испытуемых (12,5 против 7,9% соответственно). Обобщенные данные имели статистически значимые различия $P=0.011$ по χ^2 -критерию. Редкая встречаемость данного аллеля не позволила получать статистически значимые различия по отдельности, за исключением выборки из восточных русских (Аксенов М. О., 2017). Объединение выборок в единую генеральную совокупность позволило повысить уровень статистической значимости анализируемых данных.

Не были включены в метаанализ данные Usac G. (2020), в которых автор исследовал 79 турецких спортсменов (армрестлеров) в возрасте 24 лет

в сравнении с контрольной группой, состоящей из 34 человек. Были проведены ассоциативные исследования по двум полиморфизмам гена миостатина A55T и K153R. Авторам не удалось найти статистически значимых связей между исследуемыми полиморфизмами и антропометрическими показателями. Возможно, причиной таких данных явилось отсутствие среди группы спортсменов генотипов с аллелем R [56].

Авторы обнаружили, что в настоящее время опубликованные данные о полиморфизме MSTN K153R и фенотипах мышц человека отражают противоречивые результаты [65]. В ряде исследований сообщалось о значительном влиянии вариантов MSTN и реакции мышечной массы в ответ на силовые тренировки независимо от пола, этим подтверждается гипертрофический ответ на силовую тренировку у взрослых людей обоих полов. Аллель 153R был связан с большей мышечной гипертрофической реакцией на тренировку [75].

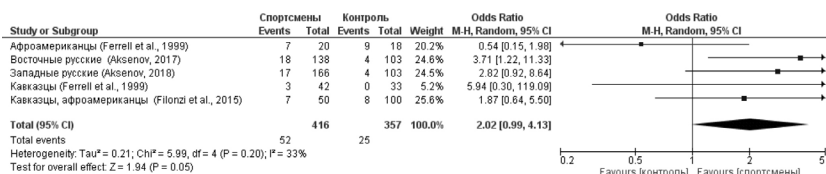
C. Santiago, J. R. Ruiz, G. Rodríguez-Romo и другие (2011) изучили связь между полиморфизмом MSTN K153R и «взрывной» силой ног, им удалось доказать в своих исследованиях на нетренированных мужчинах, что полиморфизм K153R *MSTN* связан со способностью вызывать «пиковую» мощность во время сокращений мышц, оцениваемый с помощью теста вертикального прыжка. Авторы указывают, что полиморфизмы Lys (K) и 153Arg (R), расположенные в экзоне 2 (замена rs1805086, 2379 A>G), влияют на фенотип скелетных мышц. Замена аминокислоты Lys (K) на 153Arg (R) обнаружена в активном зрелом пептиде белка миостатина, было установлено, что эта замена может влиять на протеолитический процессинг своим пропептидом или на способность связываться с внеклеточным рецептором активина типа II (ActRIIB), что, в свою очередь, индуцирует пролиферацию миобластов и дифференцировку мышечной массы.

Исследование, проведенное в Китае на 94 здоровых нетренированных мужчинах в возрасте 8–22 года, убедительно продемонстрировало, что увеличение толщины бицепса $\bar{X}=0,300\pm 0,131$ см и квадрицепса $\bar{X}=0,421\pm 0,281$ см ($P < 0,01$ для обеих мышечных групп) значительно выше среди лиц с генотипом KR, чем у лиц с генотипами KK полиморфизма K153R *MSTN*. Таким образом, полученные результаты доказали, что данный полиморфизм может не только привести к большему размеру скелетных мышц в условиях отсутствия тренировок, но также связан с более заметным увеличением мышечной массы после силовых тренировок у испытуемых, имеющих аллель R (аргинин) [52].

Частота генотипов rs1805086 KR/RR была значительно выше в группе спортсменов по сравнению с контрольной (таблица 2). Исключение составили афроамериканские спортсмены. Это может быть связано с тем, что, по данным ресурса Ensembl, частота встречаемости полиморфизма K153R на планете у афроамериканцев значительно выше, чем в других популяциях, и составляет в среднем 22% (рисунок 1).

Таблица 3.

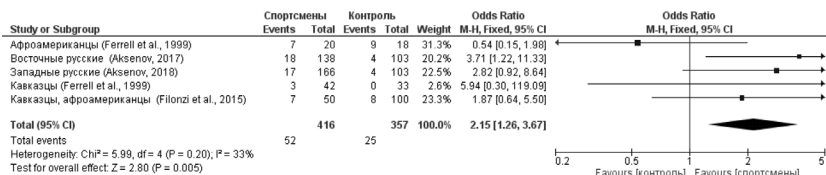
Метаанализ исследований ассоциации аллеля K153R MSTN с силой скелетных мышц и мышечной массой (рандомный эффект)



В целом для метаанализа были использованы пять исследований (случай – контроль), в которых приняли участие 416 спортсменов и 357 испытуемых из группы контроля. Генотипы KR/RR по сравнению с генотипом KK были достоверно выше в группе спортсменов (12,5%) по сравнению с контрольной (95% ДИ, P=0,011). Результаты метаанализа для модели рандомного эффекта: ОШ=2,02, P=0,05, Z=1,94 (табл. 3); для модели фиксированного эффекта: ОШ=2,15, 95% ДИ, P=0,05 (табл. 4). Коэффициент гетерохронности между исследованиями составил I² = 33%; P=0,20. Эти результаты показывают, что мутация аллеля R (то есть генотипов KR/RR) имеет статистически значимую связь с фенотипом спортсменов при развитии силовых способностей скелетных мышц и мышечной массой.

Таблица 4.

Метаанализ исследований ассоциации аллеля K153R MSTN с силой скелетных мышц и мышечной массой (фиксированный эффект)



Это первое исследование, демонстрирующее результаты метаанализа аллеля K153R MSTN с фенотипом и функциями скелетных мышц у спор-

тсменов. В частности, было установлено, что частота генотипов, способствующих увеличению мышечного объема и силы скелетной мускулатуры у спортсменов (генотипы KR и RR), была значительно выше в экспериментальной группе по сравнению с контрольной. Также были подтверждены данные, что мутация K153R чаще встречается у афроамериканцев, чем в других выборках. Кроме того, метаанализ с использованием пяти групп (две афроамериканские, кавказские и русские), включая в общей сложности 773 испытуемых спортсменов и 357 человек в группе контроля, доказал значительно более высокую распространенность генотипов KR / RR у спортсменов по сравнению с контрольной группой.

Полиморфизм K153R является значимым в развитии мышечной массы и силы. Ранее в ряде исследований также было показано, что редкий аллель R повышает ингибирование синтеза миостатина, тем самым приводя к увеличению скелетной мышечной массы и силы скелетных мышц [37]. Гипотеза о том, что эффективность силовых тренировок значительно выше у спортсменов, имеющих аллель R *MSTN* rs1805086, была подтверждена проведенным метаанализом.

R-аллель благоприятен для таких видов спорта, где важна мышечная сила и масса: бодибилдинг, пауэрлифтинг, тяжелая атлетика, армрестлинг, гиревой спорт, толкание ядра, бобслей и некоторые другие виды. Можно предположить, что эффективное влияние этого аллеля на способность стать успешным спортсменом в тяжелоатлетических и скоростно-силовых видах спорта основано на ингибировании синтеза миостатина, как было показано в некоторых предыдущих исследованиях. F. M. Ivey, S. M. Roth, R. E. Ferrell и другие в своих исследованиях также установили тенденцию влияния генотипа K153R *MSTN* на гипертрофическую реакцию скелетных мышц в ответ на силовые тренировки у женщин, имеющих гетерозиготу. Эксперименты доказали увеличение мышечной массы ног у испытуемых с генотипом KR в ответ на силовые тренировки. Это на 68% выше, чем у женщин с генотипом KK ($P=0,056$) [75]. Эти данные также указывают на значимую роль наличия редкого аллеля R *MSTN* в ответной гипертрофической реакции мышц испытуемых. Авторы отмечают, что полиморфизм K153R *MSTN* остается недостаточно изученным и нуждается в дальнейшем исследовании особенно у женщин с большой массой тела. Также интерес вызывает реакция мышечной системы в ответ на физические нагрузки силовой направленности с учетом генотипов *MSTN*.

Следует также отметить, что практически во всех найденных публикациях авторы указывали, что полученные данные в проведенных исследова-

дованиях могут быть ограничены уровнями статистической значимости применяемых методов статистической обработки. Это связано с низкой частотой встречаемости аллеля R MSTN. Следовательно, для решения этой проблемы необходимы дальнейшие исследования с большими размерами выборок. Кроме того, также, как и в большинстве исследований, связанных с полиморфизмом K153R MSTN у спортсменов, мы считаем, что необходимо проведение экспериментов, направленных на выявление ассоциаций между другими полиморфизмами MSTN и экспрессией белка миостатина с целью получения дополнительной информации о механизмах, с помощью которых полиморфизмы миостатина оказывают влияние на эффективность тренировочного процесса, направленного на увеличение мышечной массы и развитие силовых способностей спортсменов.

Заключение

Метаанализ данных по аллелю K153R MSTN (rs1805086) убедительно продемонстрировал, что генотипы KR и RR статистически значимо связаны с силовыми способностями спортсменов и их мышечной массой при выполнении физических тренировок силовой направленности. Объединение усилий и поиск людей с редким аллелем R MSTN позволят получить более значимую информацию о величине эффекта данного полиморфизма при силовых тренировках. Также должны быть изучены и другие полиморфизмы миостатина и его молекулярные механизмы, которые позволят более детально понять факторы, способствующие увеличению мышечной силы и массы.

Более глубокое понимание механизмов, контролирующих поддержание силовых способностей скелетных мышц, позволит повысить эффективность спортивного отбора, дополнить перечень молекулярных маркеров спортивных задатков и разработать более эффективные методики развития силовых способностей спортсменов.

Хорошо известно, что ингибирование экспрессии миостатина приводит к увеличению мышечной массы и улучшает регенерацию мышц. Возможно, предстоящие исследования необходимо будет проводить наряду с изучением связи миостатина и стволовых клеток, что позволит получить новые данные о молекулярных механизмах, с помощью которых миостатин влияет на пределы проявления спортивных способностей в тяжелоатлетических видах спорта. Лучшее понимание молекулярных механизмов ингибирования миостатина, в том числе физическими нагрузками силовой направленности вероятно, будет одним из перспективных направлений для

повышения профессиональной квалификации спортсменов тяжелоатлетических видов спорта.

Благодарности. Благодарю Александра Сергеевича Деханова и Владимира Яковлевича Колмакова, а также президента Федерации пауэрлифтинга России Геннадия Владимировича Ходосевич и председателя тренерского совета Сергея Викторовича Иванова за помощь в организации спортсменов, которые принимали участие в исследованиях. Я также благодарю доктора медицинских наук Ильдуса Ильясовича Ахметова за консультативную помощь при подготовке статьи.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-113-50619.

Funding. The reported study was funded by RFBR, project number 20-113-50619.

Список литературы / References

1. Beunen G., Thomis M. Gene powered? Where to go from heritability (H²) in muscle strength and power? // Exercise and Sport Sciences Reviews. 2004. Vol. 32, № 4. P. 148-154. <https://doi.org/10.1097/00003677-200410000-00005>
2. Mangine G. T., Hoffman J. R., Gonzalez A. M., Townsend J. R., Wells A. J., Jajtner A. R., Beyer K. S., Boone C. H., Miramonti A. A., Wang R., LaMonica M. B., Fukuda D. H., Ratamess N. A., Stout J. R. The effect of training volume and intensity on improvements in muscular strength and size in resistance-trained men // Physiological Reports. 2015. Vol. 3, № 8. P. 17. <https://doi.org/10.14814/phy2.12472>
3. Rodriguez J., Vernus B., Chelh I., Cassar-Malek I., Gabillard J. C., Sassi A. H., Seiliez I., Picard B., Bonnieu A. Myostatin and the skeletal muscle atrophy and hypertrophy signaling pathways // Cellular and Molecular Life Sciences. 2014. Vol. 71, № 22. P. 4361-4371. <https://doi.org/10.1007/s00018-014-1689-x>
4. Yamada A. K., Verlengia R., Bueno C. R. Myostatin: genetic variants, therapy and gene doping // Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences. 2012. Vol. 48, № 3. P. 369-377. <https://doi.org/10.1590/S1984-82502012000300003>
5. Dalbo V. J., Roberts M. D., Sunderland K. L., Poole C. N., Stout J. R., Beck T. W., Bemben M., Kerksick C. M. Acute Loading and Aging Effects on Myostatin Pathway Biomarkers in Human Skeletal Muscle After Three Sequential Bouts of Resistance Exercise // Journals of Gerontology Series a-Biological Sciences and Medical Sciences. 2011. Vol. 66, № 8. P. 855-865. <https://doi.org/10.1093/gerona/qlr091>

6. Allen D. L., Hittel D. S., McPherron A. C. Expression and Function of Myostatin in Obesity, Diabetes, and Exercise Adaptation // *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2011. Vol. 43, № 10. P. 1828-1835. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3182178bb4>
7. Zheng L.-F., Chen P.-J., Xiao W.-H. Signaling pathways controlling skeletal muscle mass // *Acta Physiologica Sinica*. 2019. Vol. 71, № 4. P. 671–679. <https://www.actaps.com.cn/qikan/manage/wenzhang/2019-4-18.pdf>
8. Roth S. M., Martel G. F., Ferrell R. E., Metter E. J., Hurley B. F., Rogers M. A. Myostatin gene expression is reduced in humans with heavy resistance strength training: A brief communication // *Experimental Biology and Medicine*. 2003. Vol. 228, № 6. P. 706-709. <https://doi.org/10.1177/153537020322800609>
9. Shishkin S.S. Miostatin i nekotorye drugie biokhimicheskie faktory, reguliruyushchie rost myshechnykh tkaney u cheloveka i ryada vysshikh pozvonochnykh [Myostatin and some other biochemical factors that regulate the growth of muscle tissue in humans and a number of higher vertebrates] // *Uspekhi biologicheskoy khimii*. 2004. Vol. 44. P. 209-262. <https://www.fbras.ru/wp-content/uploads/2017/10/shishkin.pdf>
10. McPherron A. C., Lawler A. M., Lee S. J. Regulation of skeletal muscle mass in mice by a new TGF-beta superfamily member // *Nature*. 1997. Vol. 387, № 6628. P. 83-90. <https://doi.org/10.1038/387083a0>
11. Kollias H. D., McDermott J. C. Transforming growth factor-beta and myostatin signaling in skeletal muscle // *Journal of Applied Physiology*. 2008. Vol. 104, № 3. P. 579-587. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01091.2007>
12. McFarlane C., Hui G. Z., Amanda W. Z. W., Lau H. Y., Lokireddy S., Ge X. J., Mouly V., Butler-Browne G., Gluckman P. D., Sharma M., Kambadur R. Human myostatin negatively regulates human myoblast growth and differentiation // *American Journal of Physiology-Cell Physiology*. 2011. Vol. 301, № 1. P. C195-C203. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00012.2011>
13. Ferrell R. E., Conte V., Lawrence E. C., Roth S. M., Hagberg J. M., Hurley B. F. Frequent sequence variation in the human myostatin (GDF8) gene as a marker for analysis of muscle-related phenotypes // *Genomics*. 1999. Vol. 62, № 2. P. 203-207. <https://doi.org/10.1006/geno.1999.5984>
14. Sergeeva K. V., Miroshnikov A. B., Smolensky A. V. Effect of Growth Hormone Administration on the Mass And Strength of Muscles in Healthy Young Adults: a Systematic Review and Meta-Analysis // *Human Physiology*. 2019. Vol. 45, №4. P. 452-460. <https://doi.org/10.1134/S0362119719030162>
15. Pan H., Ping X. C., Zhu H. J., Gong F. Y., Dong C. X., Li N. S., Wang L. J., Yang H. B. Association of myostatin gene polymorphisms with obesity in Chinese

- north Han human subjects // *Gene*. 2012. Vol. 494, № 2. P. 237-241. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2011.10.045>
16. Thomis M. A., Huygens W., Peeters M., Vlietinck R., Beunen G. P. Linkage analysis of myostatin-pathway genes in human adiposity: The Leuven Genes for Muscular Strength Project // *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2004. Vol. 36, № 5. P. S99-S99.
 17. Baczek J., Silkiewicz M., Wojszel Z. B. Myostatin as a Biomarker of Muscle Wasting and other Pathologies-State of the Art and Knowledge Gaps // *Nutrients*. 2020. Vol. 12, № 8. <https://doi.org/10.3390/nu12082401>
 18. Gonzalez-Cadavid N. F., Bhasin S. Role of myostatin in metabolism // *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*. 2004. Vol. 7, № 4. P. 451-457. <https://doi.org/10.1097/01.mco.0000134365.99523.7f>
 19. Han D. S., Huang C. H., Chen S. Y., Yang W. S. Serum reference value of two potential doping candidates-myostatin and insulin-like growth factor-I in the healthy young male // *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2017. Vol. 14. <https://doi.org/10.1186/s12970-016-0160-9>
 20. Lakshman K. M., Bhasin S., Corcoran C., Collins-Racie L. A., Tchistiakova L., Forlow S. B., Ledger K. S., Burczynski M. E., Dorner A. J., LaVallie E. R. Measurement of myostatin concentrations in human serum: Circulating concentrations in young and older men and effects of testosterone administration // *Molecular and Cellular Endocrinology*. 2009. Vol. 302, № 1. P. 26-32. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2008.12.019>
 21. Gonzalez-Freire M., Rodriguez-Romo G., Santiago C., Bustamante-Ara N., Yvert T., Gomez-Gallego F., Rexach J. A. S., Ruiz J. R., Lucia A. The K153R variant in the myostatin gene and sarcopenia at the end of the human lifespan // *Age*. 2010. Vol. 32, № 3. P. 405-409. <https://doi.org/10.1007/s11357-010-9139-7>
 22. Sharma M., McFarlane C., Kambadur R., Kukreti H., Bonala S., Srinivasan S. Myostatin: Expanding horizons // *Iubmb Life*. 2015. Vol. 67, № 8. P. 589-600. <https://doi.org/10.1002/iub.1392>
 23. Feder D., Rugollini M., Santomauro A., Oliveira L. P., Lioi V. P., dos Santos R., Ferreira L. G., Nunes M. T., Carvalho M. H., Delgado P. O., Carvalho A. A. S., Fonseca F. L. A. Erythropoietin reduces the expression of myostatin in mdx dystrophic mice // *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*. 2014. Vol. 47, № 11. P. 966-971. <http://dx.doi.org/10.1590/1414-431X20143858>
 24. Gentile M. A., Nantermet P. V., Vogel R. L., Phillips R., Holder D., Hodor P., Cheng C., Dai H. Y., Freedman L. P., Ray W. J. Androgen-mediated improvement of body composition and muscle function involves a novel early transcriptional program including IGF1, mechano growth factor, and induction of

- beta-catenin // *Journal of Molecular Endocrinology*. 2010. Vol. 44, № 1. P. 55-73. <https://doi.org/10.1677/jme-09-0048>
25. Kim J. S., Cross J. M., Bamman M. M. Impact of resistance loading on myostatin expression and cell cycle regulation in young and older men and women // *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*. 2005. Vol. 288, № 6. P. E1110-E1119. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00464.2004>
26. Lach-Trifilieff E., Minetti G. C., Sheppard K., Ibejunjo C., Feige J. N., Hartmann S., Brachet S., Rivet H., Koelbing C., Morvan F., Hatakeyama S., Glass D. J. An Antibody Blocking Activin Type II Receptors Induces Strong Skeletal Muscle Hypertrophy and Protects from Atrophy // *Molecular and Cellular Biology*. 2014. Vol. 34, № 4. P. 606-618. <https://doi.org/10.1128/mcb.01307-13>
27. Jespersen J. G., Nedergaard A., Andersen L. L., Schjerling P., Andersen J. L. Myostatin expression during human muscle hypertrophy and subsequent atrophy: increased myostatin with detraining // *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2011. Vol. 21, № 2. P. 215-223. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01044.x>
28. Lee S. J., McPherron A. C. Regulation of myostatin activity and muscle growth // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2001. Vol. 98, № 16. P. 9306-9311. <https://doi.org/10.1073/pnas.151270098>
29. Walker R. G., Poggioli T., Katsimpardi L., Buchanan S. M., Oh J., Wattus S., Heidecker B., Fong Y. W., Rubin L. L., Ganz P., Thompson T. B., Wagers A. J., Lee R. T. Biochemistry and Biology of GDF11 and Myostatin Similarities, Differences, and Questions for Future Investigation // *Circulation Research*. 2016. Vol. 118, № 7. P. 1125-1141. <https://doi.org/10.1161/circresaha.116.308391>
30. Hill J. J., Qiu Y. C., Hewick R. M., Wolfman N. M. Regulation of myostatin in vivo by growth and differentiation factor-associated serum protein-1: A novel protein with protease inhibitor and follistatin domains // *Molecular Endocrinology*. 2003. Vol. 17, № 6. P. 1144-1154. <https://doi.org/10.1210/me.2002-0366>
31. Huang Z. Q., Chen X. L., Chen D. W. Myostatin: A novel insight into its role in metabolism, signal pathways, and expression regulation // *Cellular Signalling*. 2011. Vol. 23, № 9. P. 1441-1446. <https://doi.org/10.1016/j.cellsig.2011.05.003>
32. Drummond M. J., Glynn E. L., Fry C. S., Dhanani S., Volpi E., Rasmussen B. B. Essential Amino Acids Increase MicroRNA-499,-208b, and-23a and Downregulate Myostatin and Myocyte Enhancer Factor 2C mRNA Expression in Human Skeletal Muscle // *Journal of Nutrition*. 2009. Vol. 139, № 12. P. 2279-2284. <https://doi.org/10.3945/jn.109.112797>
33. Ben-Zaken S., Meckel Y., Nemet D., Rabinovich M., Kassem E., Eliakim A. Frequency of the MSTN Lys(K)-153Arg(R) polymorphism among track & field

- athletes and swimmers // *Growth Hormone & IGF Research*. 2015. Vol. 25, № 4. P. 196-200. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ghir.2015.04.001>
34. Fuku N., Alis R., Yvert T., Zempo H., Naito H., Abe Y., Arai Y., Murakami H., Miyachi M., Pareja-Galeano H., Emanuele E., Hirose N., Lucia A. Muscle-Related Polymorphisms (MSTN rs1805086 and ACTN3 rs1815739) Are Not Associated with Exceptional Longevity in Japanese Centenarians // *Plos One*. 2016. Vol. 11, № 11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166605>
35. Joulia-Ekaza D., Cabello G. The myostatin gene: physiology and pharmacological relevance // *Current Opinion in Pharmacology*. 2007. Vol. 7, № 3. P. 310-315. <https://doi.org/10.1016/j.coph.2006.11.011>
36. Kostyunina D.S., Ivanova A.D., Smirnova O.V. Myostatin: Twenty Years Later // *Human Physiology*. 2018. Vol. 44. P. 88–101. <https://doi.org/10.1134/S0362119718010127>
37. Szlama G., Trexler M., Buday L., Patthy L. K153R polymorphism in myostatin gene increases the rate of promyostatin activation by furin // *Febs Letters*. 2015. Vol. 589, № 3. P. 295-301. <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2014.12.011>
38. Walsh F. S., Celeste A. J. Myostatin: a modulator of skeletal-muscle stem cells // *Biochemical Society Transactions*. 2005. Vol. 33. P. 1513-1517. <https://doi.org/10.1042/bst20051513>
39. Zhang Z. L., He J. W., Qin Y. J., Hu Y. Q., Li M., Zhang H., Hu W. W., Liu Y. J., Gu J. M. Association between myostatin gene polymorphisms and peak BMD variation in Chinese nuclear families // *Osteoporosis International*. 2008. Vol. 19, № 1. P. 39-47. <https://doi.org/10.1007/s00198-007-0435-8>
40. Elkasrawy M. N., Hamrick M. W. Myostatin (GDF-8) as a key factor linking muscle mass and bone structure // *Journal of Musculoskeletal & Neuronal Interactions*. 2010. Vol. 10, № 1. P. 56-63. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3753581/>
41. Zhu J., Li Y., Shen W., Qiao C., Ambrosio F., Lavasani M., Nozaki M., Branca M. F., Huard J. Relationships between transforming growth factor-beta 1, myostatin, and decorin - Implications for skeletal muscle fibrosis // *Journal of Biological Chemistry*. 2007. Vol. 282, № 35. P. 25852-25863. <http://dx.doi.org/10.1074/jbc.M704146200>
42. Guo W., Flanagan J., Jasuja R., Kirkland J., Jiang L., Bhasin S. The effects of myostatin on adipogenic differentiation of human bone marrow-derived mesenchymal stem cells are mediated through cross-communication between Smad3 and Wnt/beta-catenin signaling pathways // *Journal of Biological Chemistry*. 2008. Vol. 283, № 14. P. 9136-9145. <https://doi.org/10.1074/jbc.M708968200>
43. Artaza J. N., Bhasin S., Magee T. R., Reisz-Porszasz S., Shen R. Q., Groome N. P., Fareez M. M., Gonzalez-Cadavid N. F. Myostatin inhibits myogenesis

- and promotes adipogenesis in C3H 10T(1/2) mesenchymal multipotent cells // *Endocrinology*. 2005. Vol. 146, № 8. P. 3547-3557. <https://doi.org/10.1210/en.2005-0362>
44. Hamrick M. W., Arounleut P., Kellum E., Cain M., Immel D., Liang L. F. Recombinant Myostatin (GDF-8) Propeptide Enhances the Repair and Regeneration of Both Muscle and Bone in a Model of Deep Penetrant Musculoskeletal Injury // *Journal of Trauma-Injury Infection and Critical Care*. 2010. Vol. 69, № 3. P. 579-583. <https://doi.org/10.1097/ta.0b013e3181c451f4>
45. Thomis M. A. I., Huygens W., Heuninckx S., Chagnon M., Maes H. H. M., Claessens A. L., Vlietinck R., Bouchard C., Beunen G. P. Exploration of myostatin polymorphisms and the angiotensin-converting enzyme insertion/deletion genotype in responses of human muscle to strength training // *European Journal of Applied Physiology*. 2004. Vol. 92, № 3. P. 267-274. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1093-6>
46. Santiago C., Ruiz J. R., Rodriguez-Romo G., Fiuza-Luces C., Yvert T., Gonzalez-Freire M., Gomez-Gallego F., Moran M., Lucia A. The K153R Polymorphism in the Myostatin Gene and Muscle Power Phenotypes in Young, Non-Athletic Men // *Plos One*. 2011. Vol. 6, № 1. P. 5. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0016323>
47. Garatachea N., Pinos T., Camara Y., Rodriguez-Romo G., Emanuele E., Ricevuti G., Venturini L., Santos-Lozano A., Santiago-Dorrego C., Fiuza-Luces C., Yvert T., Andreu A. L., Lucia A. Association of the K153R polymorphism in the myostatin gene and extreme longevity // *Age*. 2013. Vol. 35, № 6. P. 2445-2454. <https://doi.org/10.1007/s11357-013-9513-3>
48. Schuelke M., Wagner K. R., Stolz L. E., Hubner C., Riebel T., Komen W., Braun T., Tobin J. F., Lee S. J. Brief report - Myostatin mutation associated with gross muscle hypertrophy in a child // *New England Journal of Medicine*. 2004. Vol. 350, № 26. P. 2682-2688. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa040933>
49. Catipovic B. Myostatin Mutation Associated with Gross Muscle Hypertrophy in a Child // *New England Journal of Medicine*. 2004. Vol. 351, № 10. P. 1030. <https://doi.org/10.1056/NEJM200409023511018>
50. Catipovic B. Myostatin Mutation Associated with Gross Muscle Hypertrophy in a Child // *New England Journal of Medicine*. 2004. Vol. 351, № 10. P. 1031. <https://doi.org/10.1056/NEJM200409023511018>
51. Corsi A. M., Ferrucci L., Gozzini A., Tanini A., Brandi M. L. Myostatin polymorphisms and age-related sarcopenia in the Italian population // *Journal of the American Geriatrics Society*. 2002. Vol. 50, № 8. P. 1463-1463. <https://doi.org/10.1046/j.1532-5415.2002.50376.x>

52. Li X., Wang S. J., Tan S. C., Chew P. L., Liu L. H., Wang L., Wen L., Ma L. H. The A55T and K153R polymorphisms of MSTN gene are associated with the strength training-induced muscle hypertrophy among Han Chinese men // *Journal of Sports Sciences*. 2014. Vol. 32, № 9. P. 883-891. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.865252>
53. Kostek M. A., Angelopoulos T. J., Clarkson P. M., Gordon P. M., Moyna N. M., Visich P. S., Zoeller R. F., Price T. B., Seip R. L., Thompson P. D., Devaney J. M., Gordish-Dressman H., Hoffman E. P., Pescatello L. S. Myostatin and Follistatin Polymorphisms Interact with Muscle Phenotypes and Ethnicity // *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2009. Vol. 41, № 5. P. 1063-1071. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3181930337>
54. Bhatt S. P., Nigam P., Misra A., Guleria R., Luthra K., Jain S. K., Pasha M. A. Q. Association of the Myostatin Gene with Obesity, Abdominal Obesity and Low Lean Body Mass and in Non-Diabetic Asian Indians in North India // *Plos One*. 2012. Vol. 7, № 8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040977>
55. Kim J., Park K., Lee J. Myostatin A55T Genotype is Associated with Strength Recovery Following Exercise-Induced Muscle Damage // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17, № 13. P. 8. <https://doi.org/10.3390/ijerph17134900>
56. Usac G., Eroglu O., Zileli R. The Evaluation of RS1805086 and RS1805065 Polymorphisms in Mstn Gene and Anthropometric Properties of National and Amateur Arm Wrestlers // *International Journal of Morphology*. 2020. Vol. 38, № 4. P. 1148-1154. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022020000401148>
57. Grealy R., Herruer J., Smith C. L. E., Hiller D., Haseler L. J., Griffiths L. R. Evaluation of a 7-Genetic Profile for Athletic Endurance Phenotype in Ironman Championship Triathletes // *Plos One*. 2015. Vol. 10, № 12. P. 20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145171>
58. Fernandez-Santander A., Valveny N., Harich N., Kandil M., Luna F., Martin M. A., Rubio J. C., Lucia A., Gaibar M. Polymorphisms influencing muscle phenotypes in North-African and Spanish populations // *Annals of Human Biology*. 2012. Vol. 39, № 2. P. 166-169. <https://doi.org/10.3109/03014460.2012.657243>
59. Juffer P., Furrer R., Gonzalez-Freire M., Santiago C., Verde Z., Serratos L., Morate F. J., Rubio J. C., Martin M. A., Ruiz J. R., Arenas J., Gomez-Gallego F., Lucia A. Genotype Distributions in Top-level Soccer Players: A Role for ACE? // *International Journal of Sports Medicine*. 2009. Vol. 30, № 5. P. 387-392. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1105931>
60. Aksenov M. O., Andryushchenko L. B. Myostatin gene role in strength building process // *Theory and Practice of Physical Culture*. 2018. №4. P. 71-73. <http://www.teoriya.ru/ru/node/7967>

61. Filonzi L., Franchini N., Vaghi M., Chiesa S., Nonnis Marzano F. The potential role of myostatin and neurotransmission genes in elite sport performances // *Journal of Biosciences*. 2015. Vol. 40, № 3. P. 531-537. <https://doi.org/10.1007/s12038-015-9542-4>
62. Ben-Zaken S., Meckel Y., Nemet D., Eliakim A. The combined frequency of IGF and myostatin polymorphism among track & field athletes and swimmers // *Growth Hormone & IGF Research*. 2017. Vol. 32. P. 29-32. <https://doi.org/10.1016/j.ghir.2016.12.002>
63. Khanal P., He L. X., Herbert A. J., Stebbings G. K., Onambele-Pearson G. L., Degens H., Morse C. I., Thomis M., Williams A. G. The Association of Multiple Gene Variants with Ageing Skeletal Muscle Phenotypes in Elderly Women // *Genes*. 2020. Vol. 11, № 12. P. 18. <https://doi.org/10.3390/genes11121459>
64. Peng L. N., Lee W. J., Liu L. K., Lin M. H., Chen L. K. Healthy community-living older men differ from women in associations between myostatin levels and skeletal muscle mass // *Journal of Cachexia Sarcopenia and Muscle*. 2018. Vol. 9, № 4. P. 635-642. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12302>
65. Seibert M. J., Xue Q. L., Fried L. P., Walston J. D. Polymorphic variation in the human myostatin (GDF-8) gene and association with strength measures in the Women's Health and Aging Study II cohort // *Journal of the American Geriatrics Society*. 2001. Vol. 49, № 8. P. 1093-1096. <https://doi.org/10.1046/j.1532-5415.2001.49214.x>
66. Tosun Tasar P., Sahin S., Karaman E., Oz A., Ulusoy M. G., Duman S., Berdeli A., Akcicek F. Myostatin Gene Polymorphism in an Elderly Sarcopenic Turkish Population // *Genetic Testing and Molecular Biomarkers*. 2015. Vol. 19, № 8. P. 457-460. <https://doi.org/10.1089/gtmb.2015.0033>
67. Elliott B., Renshaw D., Getting S., Mackenzie R. The central role of myostatin in skeletal muscle and whole body homeostasis // *Acta Physiologica*. 2012. Vol. 205, № 3. P. 324-340. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.2012.02423.x>
68. McNally E. M. Powerful genes – Myostatin regulation of human muscle mass // *New England Journal of Medicine*. 2004. Vol. 350, № 26. P. 2642-2644. <https://doi.org/10.1056/nejmp048124>
69. Matsakas A., Diel P. The growth factor myostatin, a key regulator in skeletal muscle growth and homeostasis // *International Journal of Sports Medicine*. 2005. Vol. 26, № 2. P. 83-89. <https://doi.org/10.1055/s-2004-830451>
70. Aksenov M. O. Theoretical and methodological foundations of building the training process in weightlifting sports, taking into account genetic characteristics. Buryat State University. Ulan-Ude, 2017. 407 p.

71. Egger M., Smith G. D., Schneider M., Minder C. Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test // *Bmj-British Medical Journal*. 1997. Vol. 315, № 7109. P. 629-634. <https://doi.org/10.1136/bmj.315.7109.629>
72. Higgins J. P. T., Thompson S. G. Quantifying heterogeneity in a meta-analysis // *Statistics in Medicine*. 2002. Vol. 21, № 11. P. 1539-1558. <https://doi.org/10.1002/sim.1186>
73. Aksenov M. O. Theoretical and methodological foundations of building the training process in weightlifting sports, taking into account genetic characteristics. Buryat State University. Ulan-Ude, 2017. 407 p.
74. Aksenov M. O. The basics of building the training process in weightlifting sports, taking into account genetic characteristics. Ulan-Ude: Buryat State University, 2016. 259 p.
75. Ivey F. M., Roth S. M., Ferrell R. E., Tracy B. L., Lemmer J. T., Hurlbut D. E., Martel G. F., Siegel E. L., Fozard J. L., Metter E. J., Fleg J. L., Hurley B. F. Effects of age, gender, and myostatin genotype on the hypertrophic response to heavy resistance strength training // *Journals of Gerontology Series a-Biological Sciences and Medical Sciences*. 2000. Vol. 55, № 11. P. M641-M648. <https://doi.org/10.1093/gerona/55.11.m641>

ДААННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Аксенов Максим Олегович, профессор кафедры физического воспитания РЭУ им. Г.В. Плеханова; профессор кафедры теории физической культуры ФГБОУ ВО “БГУ”; главный научный сотрудник РГУФКСМиТ, доктор педагогических наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова»; *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова»;* *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма*
Стремянный пер., 36, г. Москва, 115093, Российская Федерация; *ул. Смолина, 24а, г. Улан-Удэ, Республика Бурятия, 670000, Российская Федерация;* *Сиреневый бульвар, 45, г. Москва, 105122, Российская Федерация*
aksenov.mo@rea.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Maxim O. Aksenov, Professor of the Department of Physical Education at Plekhanov Russian University of Economics; Professor of the Department of Theory of Physical Culture at Banzarov Buryat State University; Chief Researcher at Russian State University of Physical Education, Sport, Youth And Tourism; Doctor of Pedagogy, Associate Professor *Plekhanov Russian University of Economics; Physical Culture at Banzarov Buryat State University; Russian State University of Physical Education, Sport, Youth And Tourism*

36, Stremyanny per., Moscow, 115093, Russian Federation; 24a, Smolina Str., Ulan-Ude, Republic of Buryatia, 670000, Russian Federation; 45, Sirenevy Boulevard, Moscow, 105122, Russian Federation

aksenov.mo@rea.ru

ORCID: 0000-0002-0079-5750

ResearcherID: O-8563-2018

Scopus Author ID: 56543129100

SPIN-code: 4417-6773

DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-336-365

УДК 339.1

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА: АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ

Е.В. Стельмашонок, В.Л. Стельмашонок

Состояние вопроса. *Цифровые технологии приводят к глубокому изменению моделей функционирования экономических агентов, в том числе и в агропромышленном комплексе (АПК). Однако, в отличие от других отраслей экономики, для АПК пока не было предложено комплексной картины тех последствий, к которым приведет его цифровая трансформация. Существующие публикации посвящены отдельным технологиям и исследуют цифровую трансформацию АПК на уровне отдельных компаний. Отсутствие такой картины препятствует принятию взвешенных решений о целесообразности проведения цифровой трансформации и выбора ее направлений.*

Материалы и методы исследования. *В статье использовался метод анализа и синтеза, а также метод анализа источников. Для отбора источников для анализа был осуществлен поиск по ключевым словам в Национальной электронной библиотеке elibrary.ru.*

Результаты. *В предлагаемой статье показано, 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.

Заключение. *Нами обоснованы следующие основные положения:*

- цифровая трансформация ведет не только к технологическим, но и к организационным преобразованиям в АПК;
- результатом цифровой трансформации станет глубокое изменение модели организации АПК и его роли в национальной экономике;

- государству необходимы принимать меры по поддержке цифровой трансформации АПК и по адаптации АПК к новому цифровому укладу.

Ключевые слова: цифровая трансформация; агропромышленный комплекс; экосистемы; платформы; вертикальные фермы

Для цитирования: Стельмашонок Е.В., Стельмашонок В.Л. Цифровая трансформация агропромышленного комплекса: анализ перспектив // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 2. С. 336-365. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-336-365

DIGITAL TRANSFORMATION OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX: AN ANALYSIS OF PROSPECTS

E.V. Stel'mashonok, V.L. Stel'mashonok

Background. Digital technologies lead to deep changes in models of functioning of economic agents, including companies in the agro-industrial complex. However, contrarily to other branches of economies, there is still no general picture of the results of digital transformation for the agro-industrial complex. Existing publications are dedicated to specific technologies and analyze digital transformation at the company level. Absence of this picture hinders decision-making in the field of digital transformation and selection of its models.

Materials and methods. The paper is based on the method of analysis and synthesis as well as on literature review method. Papers for the literature method were selected from the National electronic library eLibrary.ru using specific key words.

Results. The present paper demonstrates that the digital transformation of the agro-industrial complex will lead to:

- changes in the industrial structure of the agro-industrial complex due to the disappearance of traditional industries and emergence of new ones;
- change in the participation of the agro-industrial complex in the national and global economy;
- introduction of new models of functioning of companies of the agro-industrial complex (platforms and ecosystems);
- disappearance of remnants of the traditional agricultural social paradigm and to changes in the urban paradigm.

Conclusion. The research demonstrates that:

- digital transformation leads to technological as well as organizational changes in the agro-industrial complex;

- *the result of the digital transformation will consist in deep changes of the models of organization of the agro-industrial complex and its role in the national economy;*
- *the state should take measures in order to support the digital transformation of the agro-industrial complex and to adapt the agro-industrial complex to a new digital paradigm.*

Keywords: *digital transformation; agro-industrial complex; ecosystems; platforms; vertical farms*

For citation. *Stel'mashonok E.V., Stel'mashonok V.L. Digital transformation of the agro-industrial complex: an analysis of prospects. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 336-365. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-336-365*

Введение

В настоящее время различные отрасли экономики (как и общество в целом) переживают цифровую трансформацию [1, 14, 16, 18, 19, 29, 34, 38, 44, 45, 47, 48, 49, 53, 58, 59], и агропромышленный комплекс (АПК) не стал исключением [7, 8]. Потребность в осмыслении сущности цифровой трансформации (ЦТ) в АПК и в разработке практических методик ее проведения (как на уровне отдельных компаний, так и для всей отрасли АПК в целом, в т. ч. и в рамках государственных стратегических программ), а также в выявлении потенциала различных цифровых технологий привела к появлению значительного числа теоретических и прикладных публикаций, в которых рассматриваются соответствующие проблемы [4, 6, 7, 8, 12, 17, 20, 23, 25, 26, 27, 52].

Тем не менее, в научной литературе по ЦТ АПК есть важные пробелы. Ключевым из них, по нашему мнению, является отсутствие обобщающих работ, в которых бы исследовалось влияние ЦТ АПК не на эффективность отдельных предприятий, а модель функционирования всего АПК в целом с учетом как выгоды ЦТ, так и связанных с ней рисков. Очевидно, что отсутствие комплексного подхода к сущности ЦТ в АПК, во-первых, не позволяет дать полную картину всех процессов, связанных с ЦТ АПК, и, во-вторых, препятствует принятию обоснованных решений по проведению ЦТ АПК (особенно это важно для государственных программ).

В предлагаемой статье мы попытаемся показать, как именно может измениться АПК под влиянием цифровой трансформации.

Цель

Выявление сущности ЦТ АПК и основных последствий ее реализации. Для достижения этой цели нами были поставлены следующие задачи:

- выявление подходов к анализу ЦТ в АПК в отечественной научной литературе;
- выявление ключевых направлений ЦТ;
- описание специфики реализации общих тенденций ЦТ в условиях АПК;
- обзор основных рисков, связанных с ЦТ в АПК;
- описание новой модели функционирования АПК;
- анализ организационных последствий ЦТ для малого бизнеса в АПК.

Материалы и методы

В исследовании применялись общенаучные методы анализа и синтеза, а также метод анализа источников (literature review). Анализ источников был выполнен для выявления основных направлений описания цифровой трансформации АПК в российской научной литературе.

Перечень источников для анализа формировался на основе Российско-го индекса научного цитирования (РИНЦ) на базе Национальной электронной библиотеки eLibrary.ru. Нами был осуществлен поиск по ключевым словам «Цифровая трансформация АПК». Поиск был ограничен только статьями в журналах, в названии, ключевых словах или в аннотации которых упоминались заданные нами поисковые слова.

Поиск выдал 25 статей. После просмотра их аннотаций, а для статей, размещенных в открытом доступе – их полного текста, нами был проведен дополнительный отсев источников. Из дальнейшего рассмотрения были исключены работы, результаты которых носят слишком частный характер (посвящены отдельной технологии или компании) или, напротив, слишком описательны (не раскрывают специфику ЦТ в АПК). В окончательном перечне статей для анализа осталось семь статей на русском языке [2, 7, 8, 9, 25, 26, 27].

Анализ этих работ позволил выявить основные направления изучения ЦТ в АПК в отечественной научной литературе и поставить дальнейшие задачи исследования.

Для расширения анализа нами были дополнительно использованы статьи, посвященные ЦТ АПК, опубликованные в других российских журналах [3, 10, 11, 12, 15, 17, 20, 21, 22, 23, 28, 50], а также ведущих зарубежных журналах [30, 32, 33, 35, 39, 40, 41, 48, 52].

Далее нами были привлечены публикации по проблемам цифровой трансформации в целом в ведущих отечественных и зарубежных журна-

лах для определения основных направлений изменений организаций под влиянием цифровых технологий [1, 14, 16, 18, 19, 29, 34, 38, 42, 44, 45, 47, 49, 53, 54, 55, 57]. После этого мы проанализировали реализацию этих направлений в АПК с учетом его специфики.

Основные результаты

Проделанный нами анализ отобранных источников на русском языке показывает, что отечественная литература по проблемам ЦТ в АПК характеризуется следующими особенностями:

- ЦТ описывается преимущественно с технологической точки зрения. Специалисты уделяют большое внимание анализу цифровых технологий и их влиянию на эффективность производственных процессов, но при этом практически отсутствует поиск вариантов инновационных организационных преобразований и новых бизнес-моделей [7, 8, 9, 25, 26, 27];
- за немногочисленными исключениями, анализируются конкретные цифровые технологии, а не проблемы их комплексного использования [2, 7, 8, 9, 25, 26, 27]. В этом отношении исследования по ЦТ в АПК сильно отличаются от работ по ЦТ других отраслей экономики, в которых в настоящее время разработаны подходы по комплексному применению цифровых технологий [1, 14, 16, 18];
- основное внимание уделяется ЦТ как инструменту повышения эффективности отдельных предприятий в рамках существующих бизнес-моделей [2]. Влияние ЦТ на организацию АПК в целом практически не исследуется;
- ЦТ рассматривается в первую очередь как источник повышения эффективности предприятий [2], однако возможные негативные последствия использования цифровых технологий ни для данной конкретной компании (например, с точки зрения угроз информационной безопасности), ни для отрасли, ни для АПК в целом не анализируются.

Таким образом, изучение ЦТ в АПК в отечественной научной литературе носит ограниченный характер (см. табл. 1).

Как показывают результаты работ зарубежных и отечественных специалистов, цифровую трансформацию не следует понимать как простое внедрение передовых информационно-компьютерных технологий [14, 38, 49, 53, 57, 59].

Таблица 1.

**Ограниченность подходов к изучению цифровой трансформации АПК
в отечественной научной литературе**

Вид ограничений	Сущность ограничений	Перспективные направления исследований
По содержанию цифровых технологий	Акцент делается на технологической составляющей ЦТ без анализа организационных эффектов	Выявление влияния внедрения цифровых технологий на бизнес-модели предприятий АПК и на их организационные взаимодействия
По взаимосвязи цифровых технологий	Изучаются преимущественно отдельные цифровые технологии, а не их комплексное применение	Разработка рекомендаций по комплексному использованию цифровых технологий
По уровню применения цифровых технологий	Анализируется применение цифровых технологий на микроуровне (для отдельных предприятий)	- Разработка рекомендаций по использованию цифровых технологий на уровне отдельных отраслей АПК и всего АПК в целом; - Выявление влияния цифровой трансформации на организацию деятельности АПК
По характеру последствий	Цифровая трансформация рассматривается в первую очередь как инструмент повышения эффективности	Комплексное исследование всех последствий ЦТ для отдельных предприятий, отраслей и всего АПК в целом

ЦТ представляет собой переход к новому технологическому укладу, что предполагает глубокие изменения в моделях организации хозяйственной деятельности:

- рост автономности производственных систем, способных выполнять большинство функций без привлечения как физических, так и интеллектуальных ресурсов человека [1, 14]. Этот рост автономности достигается благодаря внедрению умной автоматизации и технологий интернета вещей, которые обеспечивают связь между производственным оборудованием, обрабатываемыми объектами и управляющими центрами [39, 53]. Применительно к сельскому хозяйству можно говорить о моделях «Умная ферма», «Умная теплица», росте использования беспилотной техники (комбайнов и тракторов), активном применении роботов в пищевой промышленности и т. д. [15, 21, 22];

- виртуализация, т. е. замещение материальных производственных активов виртуальными [14, 59]. В торговле эта тенденция нашла свое воплощение в интернет-коммерции, в пищевой промышленности – во все более широком использовании цифровых двойников производственного процесса;
- цифровая интеграция, которая позволяет объединять отдельные объекты (промышленное оборудование, предприятия, продукты, потребителей и т. д.) в единую систему [1, 53]. Это повышает качество управления этими объектами и расширяет объем информации, доступной о них;
- внедрение новых промышленных технологий, основанных на инновационных ресурсах или инновационной модели их использования. В случае АПК можно говорить о производстве продуктов питания и кормовых добавок из насекомых, а также о расширении выпуска заменителей мяса и молока из растительного сырья. Эти технологии в современных условиях имеют исключительно большое значение. Использование новых источников белка позволяет удешевить производство продуктов питания и увеличить их доступность (с учетом роста населения планеты). Заменители мяса не только удовлетворяют растущие потребности в вегетарианском питании, но и устраняют потребность в скотоводстве как источнике мяса (т. е. заменители мяса и молока производятся из растительного сырья напрямую). В перспективе, с развитием соответствующих технологий, это может устранить конкуренцию человека и животных за продукцию растениеводства (в связи с постепенной ликвидацией животноводства), и также увеличит объем продовольствия, доступный для населения (пока об этом говорить рано, поскольку растительные аналоги продукции из животного белка отличаются более высокой ценой). Еще одним примером нетрадиционного использования ресурсов является выпуск топлив на основе растительного сырья в рамках зеленой энергетики. Также можно указать на использование аддитивных технологий (3D-печати) для производства еды [35];
- изменение модели функционирования хозяйствующего субъекта. Если ранее фирмы стремились владеть всеми производственными активами, необходимыми для обеспечения полного производственного цикла, то в условиях цифровой трансформации в качестве основных хозяйствующих субъектов выступают экосистемы и платформы, которые не владеют ресурсами, а лишь координируют

деятельность их владельцев для производства конечной ценности [13, 14, 57]. Эти инновационные формы хозяйствующих субъектов могут быть описаны как метафирмы или облачные фирмы [13]. Применение метафирм в АПК началось достаточно давно, когда вертикально интегрированные предприятия стали заменяться вертикально координированными агропродовольственными цепочками, однако только переход к цифровым технологиям позволил сделать эту модель массовой;

- стремление к росту комфорта для потребителей. Использование продукта должно быть максимально удобным и не требующим дополнительных усилий [14]. Для агропродовольственной цепочки примером может быть быстрый рост различных служб доставки продуктов и готовой еды, благодаря чему потребители избавляются от необходимости самостоятельно совершать покупки и готовить еду [56];
- бережное отношение к экологии. Продукция должна производиться, потребляться и утилизироваться с минимальным ущербом для окружающей среды [33, 60]. Для этого в АПК происходит развитие органического сельского хозяйства, экологизация цепочек поставок, переход к «зеленой» продовольственной рознице, минимизация производства пищевых отходов и т. д. [5, 36, 37, 43, 46, 50, 51];
- рост доступности данных на всех этапах цепочки создания ценности – от производства до конечного потребителя. Существует возможность сбора, обработки и хранения больших массивов данных, что позволяет оптимизировать производственные процессы, гибко реагировать на изменения внешней среды и формировать предложения, адаптированные под особенности запросов конкретного потребителя (что повышает вероятность успеха продукта на рынке) [38, 53, 59].

В статье показано [59], что в цифровой трансформации выделяются три этапа:

1. Оцифровка (digitization) – преобразование аналоговых объектов в цифровые. Бизнес-модель организации остается неизменной;

2. Цифровизация (digitalization) – возникают новые каналы связи компании со своими стейкхолдерами, однако существенных изменений бизнес-модели нет;

3. Цифровая трансформация (digital transformation) – объем и уровень внедрения цифровых технологий приводит к глубокой трансформации бизнес-модели организации.

Приведенный выше перечень направлений исследований ЦТ в АПК в отечественной научной литературе показывает, что специалисты ограничиваются изучением оцифровки. Проблемы организационной трансформации в существующих публикациях не рассматриваются (даже в тех работах, в названии которых содержится заявка на изучение изменений бизнес-модели [9]).

В совокупности инновации, связанные с цифровой трансформацией, глубоко меняют как модели организации деятельности отдельных хозяйствующих субъектов, так и всю экономику в целом. В ряде случаев следствием этих изменений становится повышение эффективности организаций. Тем не менее, они влекут за собой и риски [55, 58].

Угрозам для экономики и общества посвящено значительное количество исследований. Однако большинство из них уделяют основное внимание четырем типам угроз:

- риски для занятости. Рост использования роботов для замещения человеческого труда и переход к гибким моделям занятости (который стимулируется широким распространением платформ) ведут к тому, что традиционная модель занятости, характеризующаяся длительными трудовыми контрактами, гарантированной оплатой труда и социальной защитой работников, постепенно исчезает. Это лишает людей источников дохода, карьерных перспектив и уверенности в будущем, что, в свою очередь, создает значительные угрозы для социальной стабильности. Дополнительным риском является то, что меняется характер труда, его содержание, вследствие чего полученные ранее компетенции устаревают, что усложняет для людей поиск работы [55, 58];
- риски исчезновения отдельных отраслей. Этот риск типичен не только для цифровой революции, но и для всех больших технологических изменений в целом. Переход к новым технологиям становится причиной резкого устаревания предыдущих систем производства и их замещением новыми. Примером может быть практически полное исчезновение морского пассажирского транспорта и его замещение воздушными перевозками (морской пассажирский транспорт сохранился лишь в сфере круизов, а также для паромных перевозок, т. е. фактически в грузопассажирском формате). Очевидно, что эти риски создают большие угрозы для тех стран и регионов, где устаревающие технологии важны для экономики. Кроме того, эти риски являются причиной дополнительного давления на занятость: исчезновение отраслей ведет к увольнению занятых в них работников и к неостре-

бованности их компетенций на рынке труда. Им приходится искать новую работу (в новых отраслях), адаптируясь к иному содержанию своей профессиональной деятельности и, нередко, к более низкой оплате труда. Отметим, что, по отдельным оценкам, цифровая революция, в отличие от предыдущих технологических трансформаций, создает меньше рабочих мест, чем уничтожает [55, 58];

- риски монополизации рынков. Переход от традиционных фирм к цифровым платформам и экосистемам ведет к тому, что лидирующая платформа (экосистема) становится ведущим игроком рынка, и все остальные участники вынуждены принимать ее правила. При этом традиционное антимонопольное законодательство эту угрозу предотвратить не может, поскольку такие понятия, как платформа и экосистема в нем отсутствуют [55, 58];
- риски нежелательного использования информации. Люди и организации в настоящее время оставляют большое количество информации в интернете, которая может быть использована для целей, противоречащих интересам тех лиц, которые ее оставили (киберугрозы, цифровой контроль и т. д.) [55, 58].

Подчеркнем, что эти риски анализируются применительно либо к экономике и обществу в целом, либо к отраслям экономики, отличным от АПК. При этом специфика проявления цифровой трансформации в АПК с точки зрения порождаемых ею угроз в настоящее время не исследована.

Анализ основных направлений, в которых происходит цифровая трансформация экономики, позволяет говорить о следующих специфических рисках ее проявления в АПК:

1. Угрозы для сельского уклада жизни (вплоть до его полного исчезновения);
2. Угрозы исчезновения отдельных отраслей (прежде всего, скотоводства);
3. Угрозы исчезновения малых сельхозпроизводителей (и, в целом, малого бизнеса в АПК);
4. Рост применения растительного сырья для производства топлива с последующим усилением конкуренции между энергетикой и пищевой промышленностью за продукцию растениеводства.

Рассмотрим эти риски подробнее.

Значительная часть хозяйственной деятельности АПК разворачивается на селе, которое отличается значимыми экономическими и социальными особенностями и представляет собой значимую часть культурного разнообразия нашей страны. Одной из этих специфических черт является

неразрывная связь населения с землей. В отличие от работников промышленности и сферы услуг, где рабочее место отделено от места проживания, а личное время – от рабочего, на селе эти понятия близки, а в отдельных случаях – неразличимы. В силу этого у сельского населения велика ответственность перед местом своего проживания и сильнее социальные связи. Индустриализация нанесла по сельскому укладу в России сильный удар (особенно ощутимый из-за тех мер, которые использовались для проведения индустриализации), практически уничтожив крестьянство и став причиной исчезновения множества деревень. Тем не менее, селу в определенной степени удалось сохранить свою специфику.

Цифровая трансформация, при которой рабочая сила активно замещается средствами автоматизации [1], сокращает потребность в постоянном сельском населении и ведет к дальнейшему обезлюживанию деревень. Та занятость, которая сохраняется, приобретает временный характер. Крупным сельскохозяйственным компаниям проще и дешевле завозить работников на временной основе из других регионов, чем нанимать местных жителей (в частности, из соображений биобезопасности – у местного населения есть свои подсобные хозяйства, что создает риски для поголовья крупных компаний [24]). В результате село как специфическая форма экономической и социальной организации может исчезнуть.

Эти риски, в отличие от рисков ЦТ в промышленности и сфере услуг, недостаточно осознаются руководством нашей страны. В существующих программах поддержки перехода АПК к цифровому укладу мер, направленных на сохранение села (или на его адаптацию к новому технологическому укладу), не предусматривается.

Отметим, что эти риски несут угрозу не только для социальной стабильности (в связи с лишением сельского населения источников дохода и принуждением его к миграции в другие регионы), но и для национальной безопасности. Отказ от присутствия постоянного населения в значительной части страны может стать источником нежелательной миграции из-за рубежа, что в будущем, как подтверждает пример Косово, может создать угрозу для целостности государства [61, 62].

Интересно подчеркнуть, что глубокую трансформацию может пережить и городская среда, в которой в настоящее время развиваются специфические формы сельского хозяйства, в частности, вертикальные фермы [30, 32, 48]. Результатом может стать дальнейшее размывание границ между городом и деревней (с точки зрения как образа жизни людей, так и зрения специализации). Сельские пространства будут индустриализироваться

и заселяться наемными работниками (вместо постоянного проживающего сельского населения), тогда как в городах, напротив, будут формироваться специфические модели аграрного производства, направленные на удовлетворение локальных потребностей.

Исчезновение отрасли скотоводства (или, по крайней мере, ее значительное сокращение) может быть обусловлено переходом населения на вегетарианское питание, т. е. отказ от животного белка. Как показывает современная ситуация, тенденция на отказ от потребления животной пищи носит устойчивый характер. Сдерживающими факторами являются высокая стоимость продуктов-заменителей и их пока недостаточные вкусовые качества, а также сравнительно узкий ассортимент (аналоги существуют не для всех видов животной продукции), что препятствует переключению на вегетарианскую модель потребления тех людей, которые в принципе готовы отказаться от животной пищи, но хотели бы иметь ее аналог (а не просто перейти на растительную пищу). Тем не менее, развитие технологий ведет к росту качества продуктов-аналогов из растительного белка (хотя, по мнению диетологов, они не соответствуют потребностям человеческого организма, их вкусовые характеристики постоянно улучшаются). С ростом объема производства таких продуктов можно будет ожидать снижения их стоимости.

В этой ситуации потребность в отрасли молочного и мясного животноводства значительно снижается. Растительное сырье может быть переработано в аналог продукции из животного белка без использования скота. Теоретически такая переработка может быть даже более эффективной, чем традиционное производство мяса и молока (поскольку уходят потери растительного сырья на поддержание жизнедеятельности животных), что может быть дополнительным источником снижения себестоимости. Это также позволит высвободить под растениеводство значительные площади пахотных земель, в настоящее время используемых под выпас скота, что может способствовать росту доступности продовольствия и, как следствие, росту качества жизни населения.

Однако это также приведет к падению потребности в инфраструктуре, созданной для обеспечения потребностей животноводства, и к обесцениванию инвестиций в нее. Это потребует поддержки как частного бизнеса в отрасли животноводства, так и регионов, в которых животноводство играет ведущую роль в экономике.

Частично это ослабление роли животноводства может быть компенсировано развитием новых отраслей в АПК, таких, как производство животного белка на новой технологической основе (в частности, из насекомых),

а также прямое производство аналогов животного белка из растительного сырья. Кроме того, активно развивается производство топлива из растительного сырья. Таким образом, исчезновению старых отраслей будет сопутствовать возникновение и развитие новых.

Риски ухода с рынка малого бизнеса связаны с тем, что он, во-первых, не обладает достаточными ресурсами, чтобы самостоятельно осуществить цифровую трансформацию, и, во-вторых, в ряде видов деятельности он менее эффективен по сравнению с крупными предприятиями. Для России в целом характерно преобладание крупных агропромышленных холдингов, и велика вероятность, что цифровая трансформация АПК будет сопровождаться дальнейшим укрупнением аграрного бизнеса [25].

Этот эффект в целом нежелателен:

- он негативно сказывается на национальной продовольственной безопасности, обеспечение которой в текущих геополитических условиях имеет большое значение для нашей страны. Концентрация агропромышленного производства у небольшого количества крупных компаний, хотя и позволяет мобилизовать ресурсы для инвестиций, становится источником зависимости национальной продовольственной безопасности от функционирования этих компаний. Банкротство одной из них может создать угрозу ухода с рынка значительной части сельскохозяйственной продукции (с соответствующими последствиями для продовольственного снабжения населения). По этой причине необходимо сохранять локальный бизнес;
- мелкие предприятия АПК инвестируют в развитие нишевых производств, ориентированных на потребности конкретных групп клиентов. Ликвидация таких предприятий приведет к усреднению продовольственного ассортимента и к ухудшению удовлетворения запросов нишевых потребителей.

Однако хотя цифровая трансформация действительно требует значительных ресурсов (доступ к которым есть только у крупных агропромышленных холдингов), она одновременно предоставляет малому бизнесу инструменты для развития. Малые предприятия могут сотрудничать на основе цифровых платформ и объединять свои ресурсы (причем делать это более эффективно по сравнению с традиционными формами партнерства, такими, как кооперация) [13, 25]. Благодаря этому у них появляется возможность как противостоять крупным холдингам (формируя собственные экосистемы), так и сотрудничать с этими холдингами, выполняя в их интересах часть функций.

При этом, как показывает мировая практика сотрудничества малых предприятий, им самостоятельно сложно инвестировать в создание капиталоемких активов [13]. По этой причине государству необходимо оказывать поддержку таких инвестиций в интересах малого бизнеса (возможно, на условиях государственно-частного партнерства [31]).

Переход к возобновляемой и низкоуглеродной энергетике может привести к обострению конкуренции за растительное сырье между пищевой промышленностью и энергетикой. Следствием этого будет рост цен на продовольствие (альтернативная энергетика уже оказывает определенное давление на цены на продукты питания). В результате может снизиться доступность продовольствия для социально незащищенных групп населения, что, в свою очередь, может отрицательно сказаться на социальной стабильности в ряде стран мира.

Тем не менее, частично устранить этот риск может снижение роли животноводства, вследствие чего будет устранена конкуренция за растительные ресурсы между отраслью животноводства и населением.

Обсуждение

На основе проделанного нами анализа можно говорить о том, что АПК в результате ЦТ значительно изменится. Эти изменения охватят как структура сельского хозяйства, так и модели организации сельскохозяйственного производства, а также соотношение АПК и иных отраслей в экономике и обществе в целом:

- произойдет перестройка АПК с точки зрения его отраслевой структуры. Часть отраслей (прежде всего, животноводство) может значительно снизить свою роль в АПК, но при этом возникнут новые отрасли (производство аналогов животного белка из растительного сырья, а также производство животного белка из альтернативных ресурсов);
- в АПК, как и в остальных отраслях экономики, будут доминировать платформы и экосистемы. При этом есть вероятность возникновения экосистем и платформ, организованных мелкими производителями;
- есть угроза окончательного исчезновения села как отдельного социально-экономического уклада. При этом, однако, значительные изменения могут произойти и в организации городской жизни, в которой возникнут новые, характерные исключительно для города, формы сельского хозяйства (вертикальные фермы и т. д.). В результате, вероятно, можно будет говорить о новом синтетическом укладе, в котором, в случае благоприятного развития событий, будут сочетаться элементы как городского, так и сельского уклада;

- сельское хозяйство станет поставщиком ресурсов для энергетики, что трансформирует структуру мирового спроса на продукцию растениеводства. Это может стать причиной роста цен на продовольствия (из-за конкуренции между энергетикой и пищевой промышленностью за продукцию растениеводства). Однако переход к производству аналогов животного белка из растительного сырья, а также альтернативные источники живого белка позволят нарастить производство растительных ресурсов.

Эти изменения представляют собой как возможности, так и угрозы, при этом возможности и угрозы тесно взаимосвязаны (см. табл. 2). Важной задачей при разработке стратегии ЦТ АПК является балансировка этих возможностей и угроз.

Таблица 2.

Направления цифровой трансформации АПК

Направления цифровой трансформации	Угрозы	Возможности
Дальнейшая индустриализация села	Исчезновение села как самостоятельного социально-экономического уклада	Формирование нового синтетического социально-экономического уклада на основе развития специфических городских форм сельского хозяйства
Трансформация отраслевой структуры АПК	Исчезновение или сокращение ряда отраслей (животноводство, кормопроизводство и т. д.)	- Возникновение новых отраслей (производство аналогов животного белка, использование альтернативных источников белка и т. д.); - Рост непродовольственного использования сельскохозяйственной продукции (энергетика)
Переход к новой модели организации хозяйственной деятельности	Риск доминирования крупных платформ и экосистем, организованных ведущими холдингами с последующим вытеснением мелких производителей	- Возможность объединения мелких производителей в рамках самостоятельно организованных ими экосистем; - Возможность повышения эффективности деятельности мелких сельхозпроизводителей путем их встраивания во внешние экосистемы
Изменение технологических процессов в АПК	Использование продукции растениеводства для энергетики может стать причиной роста цен на продовольствие	Снижение роли животноводства может привести к росту производства растительных ресурсов и улучшить их доступность для населения

Заключение

ЦТ в АПК не только повысит эффективность функционирования отдельных предприятий, но и приведет к глубоким изменениям модели организации АПК. Эти изменения станут источником важных экономических и социальных последствий, которые пока в научной литературе не описаны, и по этой причине подготовка к ним (а также разработка по минимизации их негативных эффектов) пока не ведется. По нашему мнению, стратегии цифровой трансформации АПК должны принимать во внимание следующие аспекты:

- разработка социальных, экономических и демографических мер, направленных на удержание постоянного населения в районах сельскохозяйственного производства;
- адаптация городской среды к особенностям ведения сельского хозяйства в условиях нового технологического уклада. В частности, при организации новой городской застройки и при рекультивации старых промышленных зданий необходимо планировать организацию вертикальных ферм. Это позволит повысить качество городской среды и создаст условия для снабжения городского населения качественной сельскохозяйственной продукцией;
- развитие альтернативных сельскохозяйственных производств (производство аналогов животного белка из растительного сырья, альтернативные источники животного белка, энергетика и др.), в т. ч. и для целей экспорта. Поскольку модели сельского хозяйства в настоящее время меняются, у России появляется шанс стать важным игроком на новом рынке сельскохозяйственной продукции;
- разработка мер по поддержке отраслей и регионов, переживающих структурную трансформацию АПК. Это позволит данным отраслям и регионам сравнительно безболезненно адаптироваться к ведению бизнеса в условиях цифрового уклада;
- разработка законодательной базы для регулирования новых отраслей АПК, новых моделей организации хозяйственной деятельности (платформ и экосистем) и новой модели городской среды. Особое внимание следует уделить разработке требований к контролю безопасности инновационных отраслей (в частности, производству пищевой продукции из насекомых) и к качеству новых продуктов питания, а также к их торговле. С научной точки зрения необходимо развивать товароведение инновационных видов продуктов питания (пока, насколько можно судить, такая задача даже не ставилась);

- инфраструктурная поддержка экосистем, направленных на обслуживание потребностей малого бизнеса. В силу ограниченности ресурсов малому бизнесу будет затруднительно самостоятельно развивать экосистемы, и поэтому государству необходимо создавать условия для запуска таких экосистем и платформ (в т. ч., возможно, на условиях государственно-частного партнерства).

Список литературы

1. Абдурахманова Э. Э. К., Курбанов А. Х. Цифровые технологии в системе материально-технического обеспечения: оценка рисков // Компетентность. 2020. № 5. С. 10-14. http://www.asms.ru/upload/medialibrary/88d/komp_5-176-2020_rus.pdf
2. Аньшин В. М., Бобылев А. З. Управление процессами антикризисной цифровой трансформации на примере бройлерного производства // АПК: экономика, управление. 2021. № 2. С. 33-40. <https://doi.org/10.33305/212-33>
3. Апалькова Г. Д., Попова Н. В., Ликсунова А. Д. Подходы к формированию рынка пищевых продуктов нового формата // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2020. Т. 8, № 4. С. 5-12. <https://doi.org/10.14529/food200401>
4. Батищева Е. А. Цифровизация как механизм технологической трансформации сельского хозяйства // Экономика сельского хозяйства России. 2020. № 4. С. 2-7. <https://doi.org/10.32651/204-2>
5. 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. V. 12, No 5. P. 79-96. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2020-12-5-79-96>
6. Боговиз А.В., Попкова Е.Г., Свистунова И.Г. Инновационная модель агропромышленного воспроизводства в условиях индустрии 4.0: особенности и перспективы // АПК: Экономика, управление. 2018. № 5. С. 4-10. <https://doi.org/10.33305/185-4>
7. Бутырин В. В., Бутырина Ю. А. Направления цифровой трансформации сельского хозяйства // Экономика сельского хозяйства России. 2019. № 6. С. 9-14. <https://doi.org/10.32651/196-9>
8. Варганова М. Л. Цифровая трансформация российского АПК в современных условиях // Экономика, предпринимательство и право. 2019. Т. 9, № 4. С. 301-310. <https://doi.org/10.18334/epp.9.4.41534>
9. Володин В. М., Надькина Н. А., Понукалин А. В. Трансформация бизнес-моделей управления предприятиями промышленности и агропро-

- мышленного комплекса в условиях цифровизации экономики // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Общественные науки. 2019. № 3. С. 200-216. <https://doi.org/10.21685/2072-3016-2019-3-20>
10. Гриценко Г. М., Черняков М. К., Чернякова М. М., Чернякова И. А., Громов С. С. Индекс цифровизации организаций пищевой промышленности // Пищевая промышленность. 2021. № 3. С. 31-35. <https://doi.org/10.24412/0235-2486-2021-3-0025>
 11. Евсюкова Т. Г. Цифровые платформы как формы сбыта сельскохозяйственной продукции // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2020. № 2. С. 106-111. <https://doi.org/10.33938/202-106>
 12. Коноваленко Л. Ю., Мишуров Н. П., Голубев И. Г., Никитина М. А., Бредихин С. А. Цифровая трансформация пищевой и перерабатывающей промышленности. М.: Росинформагротех, 2020. 80 с.
 13. Котляров И. Д. Кооперативы и новая институциональная экономическая теория // Журнал институциональных исследований. 2019. Т. 11, № 3. С. 84-103. <https://doi.org/10.17835/2076-6297.2019.11.3.084-103>
 14. Котляров И. Д. Цифровая трансформация финансовой сферы: содержание и тенденции // Управленец. 2020. Т. 11, № 3. С. 72-81. <https://doi.org/10.29141/2218-5003-2020-11-3-6>
 15. Кузнецова О. А., Никитина М. А., Захаров А. Н. Фабрика будущего: роботы в мясной промышленности // Все о мясе. 2020. № 2. С. 16-21. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-2-16-20>
 16. Курбанов А. Х., Плотноков В. А. Оценка перспектив развития логистики в условиях цифровизации экономики и трансформации социальной сферы // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2020. № 3. С. 94-101. https://unecon.ru/sites/default/files/izvestiya_no_3-2020.pdf
 17. Мигунов Р. А. Цифровое сельское хозяйство: определение и перспективы в России // Стратегические задачи макроэкономического регулирования и пространственного развития. Орел: Орловский государственный университет экономики и торговли, 2019. С. 158-166.
 18. Никонов А. С., Стельмашонок Е. В. Анализ внедрения современных цифровых технологий в финансовой сфере // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2018. Т. 11, № 4. С. 111-119. <https://doi.org/10.18721/JE.11408>
 19. Нуреев Р. М., Карапаев О. В. Три этапа становления цифровой экономики // Journal of Economic Regulation. 2019. Т. 10, № 2. С. 6-27. <https://doi.org/10.17835/2078-5429.2019.10.2.006-027>

20. Орлова Н. В., Серова Е. В., Николаев Д. В., Хворостяная А. С., Новикова Ю. А., Явкина Е. В., Бобкова Е. Ю., Рагозин П. В., Янбых Р. Г., Соколов А. В., Чулок А. А. Инновационное развитие агропромышленного комплекса в России. Agriculture 4.0 : докл. к XXI Агр. междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 2020 г. М.: ВШЭ, 2020. 128 с. <https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/direct/400858417.pdf>
21. Пантелеева Т.А. Проблемы развития цифровых бизнес-моделей предприятий АПК: зарубежный и отечественный опыт // Продовольственная политика и безопасность. 2021. Том 8, № 1. С. 63-84. <https://doi.org/10.18334/ppib.8.1.111561>
22. Пантелеева Т.А. Интеграция инструментов искусственного интеллекта в систему стратегического менеджмента агробизнеса // Продовольственная политика и безопасность. 2021. Том 8, № 2. С. 145-166. <https://doi.org/10.18334/ppib.8.2.111548>
23. Панфилов В. А. Синергетический подход к созданию технологий АПК будущего // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50, № 4. С. 642-649. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-642-649>
24. Тарасов В. И. Экономические и инвестиционные аспекты распространения африканской чумы свиней и ее ликвидации // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2020. № 11. С. 103-106. <https://doi.org/10.33938/2011-103>
25. Тарасов В. И., Ершов В. В., Абрашкина Е. Д. Цифровая трансформация АПК: проблемы и перспективы // Экономика сельского хозяйства России. 2020. № 7. С. 24-26. <https://doi.org/10.32651/207-24>
26. Трошин А. С., Божков Ю. Н., Санду И. С. Цифровая трансформация сельского хозяйства как основа инновационного развития // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2018. № 12. С. 3-8.
27. Усенко Л. Н., Холодов О. А. Государственный мониторинг экономических отношений в условиях цифровой экономики // Экономика сельского хозяйства России. 2019. № 4. С. 19-24. <https://doi.org/10.32651/194-19>
28. Фадеева О. П., Нефедкин В. И. Аграрное землепользование в России и в регионах Сибири в условиях цифровой трансформации // Регион: экономика и социология. 2020. № 4. С. 123-150. <https://doi.org/10.15372/REG20200406>
29. Этри Э., Карбланк Э., Гиртен Д., Лешер М., Пилат Д., Вайкофф Э., Кейхин Б. Векторы цифровой трансформации // Вестник международных организаций: образование, наука, новая экономика. 2020. Т. 15, № 3. С. 7-50. <https://doi.org/10.17323/1996-7845-2020-03-01>
30. Al-Chalabi M. Vertical farming: Skyscraper sustainability? // Sustainable Cities and Society. 2015. Vol. 18. P. 74-77, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.06.003>

31. Belyanina I. V., Mindlin Yu. B., Mityashin G. Yu. Enhancing public-private partnership efficiency by using life cycle contracts: a conceptual approach // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 650. P. 012033. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/650/1/012033>
32. Benke K., Tomkins B. Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture, Sustainability // Science, Practice and Policy. 2017. V. 13, No 1. P. 13-26. <https://doi.org/10.1080/15487733.2017.1394054>
33. Borkova E., Plotnikov V., Vatlina L., Shakhnovich R. Green Investments and Environmental Management: Russia's Experience // Vision 2020: Sustainable Economic Development and Application of Innovation Management, 2019, pp. 7394-7401.
34. Bozhuk S., Kozlova N., Krasnostavskaja N., Maslova T. Transformation of mechanism of sales and services promotion in digital environment // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. P. 12-14. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/497/1/012114>
35. Burke-Shyne S., Gallegos D., Williams T. 3D food printing: nutrition opportunities and challenges // British Food Journal. 2020. Vol. 123. No. 2. pp. 649-663. <https://doi.org/10.1108/BFJ-05-2020-0441>
36. Chen T.B., Chai L.T. Attitude towards the environment and green products: Consumers' perspective // Management Science and Engineering. 2010. V. 4, No. 2. P. 27-39. <https://doi.org/10.3968/J.MSE.1913035X20100402.002>
37. Dabija D.C., Pop C.M. Green marketing – Factor of competitiveness in retailing // Environmental Engineering and Management Journal. 2013. V. 12, No. 2. P. 393-400. <http://dx.doi.org/10.30638/eemj.2013.049>
38. Dementiev V., Evsukov S., Ustyuzhanin V., Ustyuzhanina E. Impact of digital economy on the transformation of models of business activity organization within corporations // Espacios. 2017. V. 38, No 48. P. 10. <https://www.revistaespacios.com/a17v38n48/a17v38n48p10.pdf>
39. Fedotova G.V., Ilyasov R.H., Buletova N.E., Yakushkina T.A., Kurbanov T.K. AI as a Breakthrough Technology of Agriculture Development // Popkova E., Sergi B. (eds) Artificial Intelligence: Anthropogenic Nature vs. Social Origin. ISC Conference - Volgograd 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol. 1100. P. 384-393. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39319-9_44
40. 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. 2018. Vol. 622. P. 542-548. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75383-6_68

41. Fu H., Zhao C., Cheng Ch., Ma H. Blockchain-based agri-food supply chain management: case study in China // *International Food and Agribusiness Management Review*. 2020. V. 23, No 5. P. 667-679. <https://doi.org/10.22434/IF-AMR2019.0152>
42. Gaiardelli, P., Pezzotta, G., Rondini, A., Romero, D., Jarrahi, F., Bertoni, M., Wiesner, M., Wuesten, T., Larsson, T., Zaki, M., Jussen, Ph., Boucher, X., Bigdeli, A. Z., Cavalieri, S. Product-service systems evolution in the era of Industry 4.0 // *Service Business*. 2021. Vol. 15. P. 177–207. <https://doi.org/10.1007/s11628-021-00438-9>
43. Hallorana A., Clemente J., Kornumc N., Bucatariud C., Magid J. Addressing food waste reduction in Denmark // *Food Policy*. 2014. Vol. 49, No. 1. pp. 294-301. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2014.09.005>
44. Kapustina I., Pereverzeva T., Stepanova T. Convergence of institutes of retail traditional and digital economy // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019. pp. 012120. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/497/1/012120>
45. Krasnyuk I., Medvedeva Y., Baharev V., Chargaziya G. Evolution of strategies of retail and technological systems under broad digitalization conditions // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. pp. 012124. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/497/1/012124>.
46. Kumar P. Greening retail: an Indian experience // *International Journal of Retail & Distribution Management*. 2014. Vol. 42, No. 7. P. 613-625. <https://doi.org/10.1108/IJRDM-02-2013-0042>
47. Lobova S.V., Ragulina Y.V., Averin A.V., Simonov S.Y., Semenova E.I. Methods of Digitization of the Russian Economy with the Help of New Internet Technologies // Popkova E., Ostrovskaya V. (eds) *Perspectives on the Use of New Information and Communication Technology (ICT) in the Modern Economy*. ISC 2017. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. Vol. 726. P. 221-228. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90835-9_26
48. Marks P. Vertical farming growing up in a big way // *New Scientist*. 2014. Vol. 221, No 2952. P. 17-18, [https://doi.org/10.1016/S0262-4079\(14\)60124-X](https://doi.org/10.1016/S0262-4079(14)60124-X)
49. Nadkarni S., Prügl R. Digital transformation: a review, synthesis and opportunities for future research // *Management Review Quarterly*. 2021. Vol. 71. P. 233-241. <https://doi.org/10.1007/s11301-020-00185-7>
50. Nesterenko N., Pakhomova N., Richter K. K. Sustainable development of organic agriculture: strategies of Russia and its regions in context of the application of digital economy technologies // *St. Petersburg University Journal of Economic Studies*. 2020. V. 36, No 2. P. 217-242. <https://doi.org/10.21638/spbu05.2020.203>

51. Petljak K., Zulauf K., Štulec I., Seuring S. and Wagner R. Green supply chain management in food retailing: survey-based evidence in Croatia // *Supply Chain Management*. 2018. Vol. 23, No. 1. P. 1-15. <https://doi.org/10.1108/SCM-04-2017-0133>
52. Pivovarov V. F., Soldatenko O. A., Razin O. A., Shatilov M. V., Ivanova M. I. Digital economy development in the agro-industrial complex of the Russian Federation // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 650, 012052. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/650/1/012052>
53. Porter M. E., Heppelmann J. E. How Smart, Connected Products Are Transforming Competition // *Harvard Business Review*. 2014. Vol. 92, No 11. P. 64–88. <https://hbr.org/2014/11/how-smart-connected-products-are-transforming-competition>
54. Tapscott, D. After 20 Years, It's Harder to Ignore the Digital Economy's Dark Side // *Harvard Business Review*, 11.03.2016. <https://hbr.org/2016/03/after-20-years-its-harder-to-ignore-the-digital-economys-dark-side>
55. Trittin-Ulbrich H., Scherer A. G., Munro I., Whelan, G. Exploring the dark and unexpected sides of digitalization: Toward a critical agenda // *Organization*. 2021. V. 28, No. 1. p. 8–25. <https://doi.org/10.1177/1350508420968184>
56. Troise C., O'Driscoll A., Tani M., Prisco, A. Online food delivery services and behavioural intention – a test of an integrated TAM and TPB framework // *British Food Journal*. 2020. Vol. 123, No. 2. P. 664-683. <https://doi.org/10.1108/BFJ-05-2020-0418>
57. Ustyuzhanina, E., Evsukov, S., Komarova, I. Network economy as a new economic system // *European Research Studies Journal*. 2018. V. 21, No 3. P. 77-89. <https://doi.org/10.35808/ersj/1045>
58. Verbeke A., Hutzschenreuter T. The Dark Side of Digital Globalization // *Academy of Management Perspectives* [in press]. <https://doi.org/10.5465/amp.2020.0015>
59. 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>.
60. Vertakova Y.V., Plotnikov V.A. Assessment of the economic activity greening level and the green economy development directions // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2019. V. 392. P. 01207. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/392/1/012078>
61. Yi F., Gudaj R.T., Arefieva V., Mishchuk S., Potenko T.A., Yanbykh R., Zhou J., Zuenko, I. How Chinese Agricultural Immigrants Affect Farmers in the Russian Far East // *American Journal of Economics and Sociology*. 2020. Vol. 79. P. 1387-1415. <https://doi.org/10.1111/ajes.12361>

62. Yi F., Gudaj R.T., Arefieva V., Yanbykh R., Mishchuk S., Potenko T.A., Zhou J., Zuenko I. Chinese Migrant Farmers in the Russian Far East: Impact on Rural Labor Markets // *American Journal of Economics and Sociology*. 2020. V. 79. P. 1455-1482. <https://doi.org/10.1111/ajes.12363>

References

1. Abdurakhmanova E. E. K., Kurbanov A. Kh. Tsifrovyye tekhnologii v sisteme material'no-tekhnicheskogo obespecheniya: otsenka riskov [Digital technologies in the system of material supplies: evaluation of risks]. *Kompetentnost'* [Competence], 2020, no. 5, pp. 10-14. http://www.asms.ru/upload/medialibrary/88d/komp_5-176-2020_rus.pdf
2. An'shin V. M., Bobylev A. Z. Upravlenie protsessami antikrizisnoy tsifrovoy transformatsii na primere broylernogo proizvodstva [Management of the processes of anti-crisis digital transformation: broiler production]. *APK: ekonomika, upravlenie* [AIC: economy, management], 2021, no. 2, pp. 33-40. <https://doi.org/10.33305/212-33>
3. Apal'kova G. D., Popova N. V., Liksunova A. D. Podkhody k formirovaniyu rynka pishchevykh produktov novogo formata [Approaches towards formation of the market of food products of new format]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Pishchevye i biotekhnologii* [Journal of the South Ural State University. Series: Food and biotechnologies], 2020, vol. 8, no. 4, pp. 5-12. <https://doi.org/10.14529/food200401>
4. Batishcheva E. A. Tsifrovizatsiya kak mekhanizm tekhnologicheskoy transformatsii sel'skogo khozyaystva [Digitalization as a mechanism of technological transformation of agriculture]. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii* [Economy of the agriculture of Russia], 2020, no. 4, pp. 2-7. <https://doi.org/10.32651/204-2>
5. Bakharev V. V., Kapustina I. V., Mityashin G. Yu., Katrashova Yu. V. Ekologizatsiya roznichnoy trgovli: analiz strategiy [Ecologization of retail: an analysis of strategies]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2020, vol. 12, no. 5, pp. 79-96. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2020-12-5-79-96>
6. Bogoviz A.B., Popkova E.G., Svistunova I.G. Innovatsionnaya model' agropromyshlennogo vosproizvodstva v usloviyakh industrii 4.0: osobennosti i perspektivy [Innovation model of the agro-industrial reproduction under Industry 4.0]. *APK: Ekonomika, upravlenie* [AIC: economy, management], 2018, no. 5, pp. 4-10. <https://doi.org/10.33305/185-4>
7. Butyrin V. V., Butyrina Yu. A. Napravleniya tsifrovoy transformatsii sel'skogo khozyaystva [Directions of the digital transformation of agriculture]. *Ekonomi-*

- ka sel'skogo khozyaystva Rossii* [Economy of the agriculture of Russia], 2019, no. 6, pp. 9-14. <https://doi.org/10.32651/196-9>
8. Vartanova M. L. Tsifrovaya transformatsiya rossiyskogo APK v sovremennykh usloviyakh [Digital transformation of the Russian agro-industrial complex in modern conditions]. *Ekonomika, predprinimatel'stvo i pravo* [Economics, entrepreneurship and law], 2019, vol. 9, no. 4, pp. 301-310. <https://doi.org/10.18334/epp.9.4.41534>
 9. Volodin V. M., Nad'kina N. A., Ponukalin A. V. Transformatsiya biznes-modeley upravleniya predpriyatiyami promyshlennosti i agropromyshlennogo kompleksa v usloviyakh tsifrovizatsii ekonomiki [Transformation of business models of management of companies of industry and agro-industrial complex in conditions of digital economy]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Obshchestvennye nauki* [Journal of higher schools. Volga region. Social sciences], 2019, no. 3, pp. 200-216. <https://doi.org/10.21685/2072-3016-2019-3-20>
 10. Gritsenko G. M., Chernyakov M. K., Chernyakova M. M., Chernyakova I. A., Gromov S. S. Indeks tsifrovizatsii organizatsiy pishchevoy promyshlennosti [Index of digitalization of organizations of food industry]. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food industry], 2021, no. 3, pp. 31-35. <https://doi.org/10.24412/0235-2486-2021-3-0025>
 11. Evsyukova T. G. Tsifrovye platformy kak formy sbyta sel'skokhozyaystvennoy produktsii [Digital platforms as forms of sales of agricultural products]. *Ekonomika, trud, upravlenie v sel'skom khozyaystve* [Economy, labor, management in agriculture], 2020, no. 2, pp. 106-111. <https://doi.org/10.33938/202-106>
 12. Konovalenko L. Yu., Mishurov N. P., Golubev I. G., Nikitina M. A., Bredikhin S. A. *Tsifrovaya transformatsiya pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti* [Digital transformation of the food and processing industry]. Moscow: Rosinformagrotekh, 2020, 80 p.
 13. Kotlyarov I. D. Kooperativy i novaya institutsional'naya ekonomicheskaya teoriya [Cooperatives and new institutional economics]. *Zhurnal institutsional'nykh issledovaniy* [Journal of institutional studies], 2019, vol. 11, no. 3, pp. 84-103. <https://doi.org/10.17835/2076-6297.2019.11.3.084-103>
 14. Kotlyarov I. D. Tsifrovaya transformatsiya finansovoy sfery: sodержanie i tendentsii [Digital transformation of the financial industry: the substance and trends]. *Upravlenets* [Manager], 2020, vol. 11, no. 3, pp. 72-81. <https://doi.org/10.29141/2218-5003-2020-11-3-6>
 15. Kuznetsova O. A., Nikitina M. A., Zakharov A. N. Fabrika budushchego: roboty v myasnoy promyshlennosti [Factory of the future: robots in the meat in-

- dustry]. *Vse o myase* [All about the meat], 2020, no. 2, pp. 16-21. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-2-16-20>
16. Kurbanov A. Kh., Plotnikov V. A. Otsenka perspektiv razvitiya logistiki v usloviyakh tsifrovizatsii ekonomiki i transformatsii sotsial'noy sfery [Evaluation of prospects of development of logistics in conditions of digitalization of economy and transformation of the social sphere]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta* [Journal of the St. Petersburg state university of economics], 2020, no. 3, pp. 94-101. https://unecon.ru/sites/default/files/izvestiya_no_3-2020.pdf
 17. Migunov R. A. Tsifrovoe sel'skoe khozyaystvo: opredelenie i perspektivy v Rossii [Digital agriculture: definition and prospects in Russia]. *Strategicheskie zadachi makroekonomicheskogo regulirovaniya i prostranstvennogo razvitiya* [Strategic tasks of macroeconomic regulation and space development]. Orel, 2019, pp. 158-166.
 18. Nikonov A. S., Stel'mashonok E. V. Analiz vnedreniya sovremennykh tsifrovyykh tekhnologiy v finansovoy sfere [Analysis of implementation of modern digital technologies in the financial industry]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Ekonomicheskie nauki* [Scientific and technical journal of the St. Petersburg polytechnic university. Economic sciences], 2018, vol. 11, no. 4, pp. 111-119. <https://doi.org/10.18721/JE.11408>
 19. Nureev R. M., Karapayev O. V. Tri etapa stanovleniya tsifrovoy ekonomiki [Three stages of the development of digital economy]. *Journal of Economic Regulation*, 2019, vol. 10, no. 2, pp. 6-27. <https://doi.org/10.17835/2078-5429.2019.10.2.006-027>
 20. Orlova N. V., Serova E. V., Nikolaev D. V., Khvorostyanaya A. S., Novikova Yu. A., Yavkina E. V., Bobkova E. Yu., Ragozin P. V., Yanbykh R. G., Sokolov A. V., Chulok A. A. *Innovatsionnoe razvitie agropromyshlennogo kompleksa v Rossii. Agriculture 4.0* [Innovation development of the agro-industrial complex in Russia. Agriculture 4.0]. Moscow: VShE, 2020, 128 p. <https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/direct/400858417.pdf>
 21. Panteleeva T.A. Problemy razvitiya tsifrovyykh biznes-modeley predpriyatiy APK: zarubezhnyy i otechestvennyy opyt [Problems of development of digital business models of companies of the agro-industrial complex: foreign and Russian experience]. *Prodovol'stvennaya politika i bezopasnost'* [Food policy and security], 2021, vol. 8, no. 1, pp. 63-84. <https://doi.org/10.18334/ppib.8.1.111561>
 22. Panteleeva T.A. Integratsiya instrumentov iskusstvennogo intellekta v sistemu strategicheskogo menedzhmenta agrobiznesa [Integration of tools of artificial

- intelligence in the system of strategic management in agribusiness]. *Prodovol'stvennaya politika i bezopasnost'* [Food policy and security], 2021, vol. 8, no. 2, pp. 145-166. <https://doi.org/10.18334/ppib.8.2.111548>
23. Panfilov V. A. Sinergeticheskiy podkhod k sozdaniyu tekhnologiy APK budushchego [Synergetic approach towards development of technologies of the agro-industrial complex of the future]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Technics and technology of food industry], 2020, vol. 50, no. 4, pp. 642-649. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-642-649>
24. Tarasov V. I. Ekonomicheskie i investitsionnye aspekty rasprostraneniya afrikanskoj chumy sviney i ee likvidatsii [Economic and investment aspects of the dissemination of the African swine fever and its liquidation]. *Ekonomika, trud, upravlenie v sel'skom khozyaystve* [Economy, labor, management in agriculture], 2020, no. 11, pp. 103-106. <https://doi.org/10.33938/2011-103>
25. Tarasov V. I., Ershov V. V., Abrashkina E. D. Tsifrovaya transformatsiya APK: problemy i perspektivy [Digital transformation of the agro-industrial complex: problems and prospects]. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii* [Economy of the agriculture of Russia], 2020, no. 7, pp. 24-26. <https://doi.org/10.32651/207-24>
26. Troshin A. S., Bozhkov Yu. N., Sandu I. S. Tsifrovaya transformatsiya sel'skogo khozyaystva kak osnova innovatsionnogo razvitiya [Digital transformation of agriculture as the basis for innovation development]. *Ekonomika, trud, upravlenie v sel'skom khozyaystve* [Economy, labor, management in agriculture], 2018, no. 12, pp. 3-8.
27. Usenko L. N., Kholodov O. A. Gosudarstvennyy monitoring ekonomicheskikh otnosheniy v usloviyakh tsifrovoy ekonomiki [State monitoring of economic relations in conditions of digital economy]. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii* [Economy of the agriculture of Russia], 2019, no. 4, pp. 19-24. <https://doi.org/10.32651/194-19>
28. Fadeeva O. P., Nefedkin V. I. Agrarnoe zemlepol'zovanie v Rossii i v regionakh Sibiri v usloviyakh tsifrovoy transformatsii [Agricultural use of land in regions of Siberia in conditions of digital transformation]. *Region: ekonomika i sotsiologiya* [Region: economics and sociology], 2020, no. 4, pp. 123-150. <https://doi.org/10.15372/REG20200406>
29. Etri E., Karblank E., Girten D., Leshner M., Pilat D., Vaykoff E., Keykhin B. Vektory tsifrovoy transformatsii [Vectors of digital transformation]. *Vestnik mezhdunarodnykh organizatsiy: obrazovanie, nauka, novaya ekonomika* [Journal of international organizations]. 2020, vol. 15, no. 3, pp. 7-50. <https://doi.org/10.17323/1996-7845-2020-03-01>

30. Al-Chalabi M. Vertical farming: Skyscraper sustainability? *Sustainable Cities and Society*, 2015, vol. 18, pp. 74-77, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.06.003>
31. Belyanina I. V., Mindlin Yu. B., Mityashin G. Yu. Enhancing public-private partnership efficiency by using life cycle contracts: a conceptual approach *IOP. Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 650, 012033. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/650/1/012033>
32. Benke K., Tomkins B. Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture, *Sustainability. Science, Practice and Policy*, 2017, vol. 13, no. 1, pp. 13-26. <https://doi.org/10.1080/15487733.2017.1394054>
33. Borkova E., Plotnikov V., Vatlina L., Shakhnovich R. Green Investments and Environmental Management: Russia's Experience. *Vision 2020: Sustainable Economic Development and Application of Innovation Management*, 2019, pp. 7394-7401.
34. Bozhuk S., Kozlova N., Krasnostavskaja N., Maslova T. Transformation of mechanism of sales and services promotion in digital environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, pp. 12-14. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/497/1/012114>
35. Burke-Shyne S., Gallegos D., Williams T. 3D food printing: nutrition opportunities and challenges. *British Food Journal*, 2020, vol. 123, no. 2, pp. 649-663. <https://doi.org/10.1108/BFJ-05-2020-0441>
36. Chen T.B., Chai L.T. Attitude towards the environment and green products: Consumers' perspective. *Management Science and Engineering*, 2010, vol. 4, no. 2, pp. 27-39. <https://doi.org/10.3968/J.MSE.1913035X20100402.002>
37. Dabija D.C., Pop C.M. Green marketing – Factor of competitiveness in retailing. *Environmental Engineering and Management Journal*, 2013, vol. 12, no. 2, pp. 393-400. <http://dx.doi.org/10.30638/eemj.2013.049>
38. Dementiev V., Evsukov S., Ustyuzhanin V., Ustyuzhanina E. Impact of digital economy on the transformation of models of business activity organization within corporations. *Espacios*, 2017, vol. 38, no. 48, pp. 10. <https://www.revis-taespacios.com/a17v38n48/a17v38n48p10.pdf>
39. Fedotova G.V., Ilyasov R.H., Buletova N.E., Yakushkina T.A., Kurbanov T.K. AI as a Breakthrough Technology of Agriculture Development / Popkova E., Sergi B. (eds) *Artificial Intelligence: Anthropogenic Nature vs. Social Origin. ISC Conference - Volgograd 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020, vol. 1100, pp. 384-393. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39319-9_44
40. Fedotova G.V., Kulikova N.N., Kurbanov A.K., Gontar A.A., Popkova E. (eds) Threats to Food Security of the Russia's Population in the Conditions of Transi-

- tion to Digital Economy. *The Impact of Information on Modern Humans. HOS-MC 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2018, vol. 622, pp. 542-548. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75383-6_68
41. Fu H., Zhao C., Cheng Ch., Ma H. Blockchain-based agri-food supply chain management: case study in China. *International Food and Agribusiness Management Review*, 2020, vol. 23, no. 5, pp. 667-679. <https://doi.org/10.22434/IFAMR2019.0152>
 42. Gaiardelli, P., Pezzotta, G., Rondini, A., Romero, D., Jarrahi, F., Bertoni, M., Wiesner, M., Wuesten, T., Larsson, T., Zaki, M., Jussen, Ph., Boucher, X., Bigdeli, A. Z., Cavaliere, S. Product-service systems evolution in the era of Industry 4.0. *Service Business*, 2021, vol. 15, pp. 177–207. <https://doi.org/10.1007/s11628-021-00438-9>
 43. Hallorana A., Clemente J., Kornumc N., Bucatariud C., Magid J. Addressing food waste reduction in Denmark. *Food Policy*, 2014, vol. 49, no. 1, pp. 294-301. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2014.09.005>
 44. Kapustina I., Pereverzeva T., Stepanova T. Convergence of institutes of retail traditional and digital economy. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019. 012120. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/497/1/012120>
 45. Krasnyuk I., Medvedeva Y., Baharev V., Chargaziya G. Evolution of strategies of retail and technological systems under broad digitalization conditions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019. 012124. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/497/1/012124>
 46. Kumar P. Greening retail: an Indian experience, *International Journal of Retail & Distribution Management*, 2014, vol. 42, no. 7, pp. 613-625. <https://doi.org/10.1108/IJRDM-02-2013-0042>
 47. Lobova S.V., Ragulina Y.V., Averin A.V., Simonov S.Y., Semenova E.I. Methods of Digitization of the Russian Economy with the Help of New Internet Technologies / Popkova E., Ostrovskaya V. (eds) *Perspectives on the Use of New Information and Communication Technology (ICT) in the Modern Economy. ISC 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2019, vol. 726, pp. 221-228. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90835-9_26
 48. Marks P. Vertical farming growing up in a big way. *New Scientist*, 2014. vol. 221, no. 2952, pp. 17-18, [https://doi.org/10.1016/S0262-4079\(14\)60124-X](https://doi.org/10.1016/S0262-4079(14)60124-X)
 49. Nadkarni S., Prügl R. Digital transformation: a review, synthesis and opportunities for future research. *Management Review Quarterly*, 2021, vol. 71, pp. 233-241. <https://doi.org/10.1007/s11301-020-00185-7>
 50. Nesterenko N., Pakhomova N., Richter K. K. Sustainable development of organic agriculture: strategies of Russia and its regions in context of the appli-

- cation of digital economy technologies, *St. Petersburg University Journal of Economic Studies*, 2020, vol. 36, no. 2, pp. 217-242. <https://doi.org/10.21638/spbu05.2020.203>
51. Petljak K., Zulauf K., Štulec I., Seuring S. and Wagner R. Green supply chain management in food retailing: survey-based evidence in Croatia. *Supply Chain Management*, 2018, vol. 23, no. 1, pp. 1-15. <https://doi.org/10.1108/SCM-04-2017-0133>
 52. Pivovarov V. F., Soldatenko O. A., Razin O. A., Shatilov M. V., Ivanova M. I. Digital economy development in the agro-industrial complex of the Russian Federation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 650, 012052. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/650/1/012052>
 53. Porter M. E., Heppelmann J. E. How Smart, Connected Products Are Transforming Competition. *Harvard Business Review*, 2014, vol. 92, no. 11, pp. 64–88. <https://hbr.org/2014/11/how-smart-connected-products-are-transforming-competition>
 54. Tapscott, D. After 20 Years, It's Harder to Ignore the Digital Economy's Dark Side. *Harvard Business Review*, 11.03.2016. <https://hbr.org/2016/03/after-20-years-its-harder-to-ignore-the-digital-economys-dark-side>
 55. Trittin-Ulbrich H., Scherer A. G., Munro I., Whelan, G. Exploring the dark and unexpected sides of digitalization: Toward a critical agenda. *Organization*, 2021, vol. 28, no. 1, pp. 8–25. <https://doi.org/10.1177/1350508420968184>
 56. Troise C., O'Driscoll A., Tani M., Prisco, A. Online food delivery services and behavioural intention – a test of an integrated TAM and TPB framework. *British Food Journal*, 2020, vol. 123, no. 2, pp. 664-683. <https://doi.org/10.1108/BFJ-05-2020-0418>
 57. Ustyuzhanina, E., Evsukov, S., Komarova, I. Network economy as a new economic system. *European Research Studies Journal*, 2018, vol. 21, no. 3. pp. 77-89. <https://doi.org/10.35808/ersj/1045>
 58. Verbeke A., Hutzschenreuter T. The Dark Side of Digital Globalization. *Academy of Management Perspectives* [in press]. <https://doi.org/10.5465/amp.2020.0015>
 59. 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>
 60. Vertakova Y.V., Plotnikov V.A. Assessment of the economic activity greening level and the green economy development directions. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 392, pp. 01207. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/392/1/012078>

61. Yi F., Gudaj R.T., Arefieva V., Mishchuk S., Potenko T.A., Yanbykh R., Zhou J., Zuenko, I. How Chinese Agricultural Immigrants Affect Farmers in the Russian Far East. *American Journal of Economics and Sociology*, 2020, vol. 79, pp. 1387-1415. <https://doi.org/10.1111/ajes.12361>
62. Yi F., Gudaj R.T., Arefieva V., Yanbykh R., Mishchuk S., Potenko T.A., Zhou J., Zuenko I. Chinese Migrant Farmers in the Russian Far East: Impact on Rural Labor Markets. *American Journal of Economics and Sociology*, 2020, vol. 79, pp. 1455-1482. <https://doi.org/10.1111/ajes.12363>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Стельмашонок Елена Викторовна, д-р экон. наук, профессор, заведующая кафедрой вычислительных систем и программирования
*Санкт-Петербургский государственный экономический университет
ул. Садовая, 21, г. Санкт-Петербург, 191023, Российская Федерация
vitaminew@gmail.com*

Стельмашонок Виталий Леонидович, канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры менеджмента и инноваций
*Санкт-Петербургский государственный экономический университет
ул. Садовая, 21, г. Санкт-Петербург, 191023, Российская Федерация
stelmashonok@gmail.com*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Elena V. Stelmashonok, Dr. Sc. (Economics), Professor, Head of the Chair of Computing Systems and Programming
*St. Petersburg University of Economics
21, Sadovaya Str., St. Petersburg, 191023, Russian Federation
vitaminew@gmail.com
ORCID: 0000-0001-8414-8181
SPIN-code: 9851-3776*

Vitaliy L. Stelmashonok, Cand. Sc. (Economics), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Management and Innovations
*St. Petersburg University of Economics
21, Sadovaya Str., St. Petersburg, 191023, Russian Federation
stelmashonok@gmail.com
ORCID: 0000-0002-9554-9236
SPIN-code: 4799-8094*

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, химии, 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	полуторный
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 УКАЗАНИЯ
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, chemistry, 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

КАРДИОЛОГИЯ. СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ

ОСОБЕННОСТИ ГЕМОДИНАМИКИ
В СТРУКТУРНО-РАЗЛИЧНЫХ ВНУТРИОРГАННЫХ
АРТЕРИАЛЬНЫХ БИФУРКАЦИЯХ СЕРДЦА ЧЕЛОВЕКА,
ВЫЯВЛЯЕМЫЕ С ПОМОЩЬЮ ЧИСЛЕННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ
**О.К. Зенин, В.С. Оверко, А.В. Дмитриев,
И.С. Милтых** 11

ВНУТРЕННИЕ БОЛЕЗНИ

ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ
ЭКСПРЕССИИ МАРКЕРОВ ПЛОТНЫХ КОНТАКТОВ
У ЖЕНЩИН ПОСЛЕ МИОМЭКТОМИИ
А.И. Шаповалова, В.О. Полякова, Т.С. Клейменова 32

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

ОБЩЕСТВЕННОЕ ЗДОРОВЬЕ И РАЗВИТИЕ
ЗДРАВООХРАНЕНИЯ В РЕГИОНАХ РОССИИ
С.Н. Иванова 47

IMPROVEMENT OF MECHANISMS FOR STATE
MANAGEMENT OF CONTINUOUS IMPROVEMENT
OF QUALITY OF PROVISION OF MEDICAL SERVICES
IN UKRAINE
**О. Karpenko, S. Stavytska, I. Artemenko,
I. Sidanich, I. Prozhoha** 64

ПСИХОЛОГИЧЕСКОЕ ЗДОРОВЬЕ СПОРТСМЕНОВ
В ПЕРИОД ПАНДЕМИИ COVID-2019
П.А. Кисляков, М.С. Белов, Н.П. Константинова 77

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБУЧАЮЩЕГО
ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ «ЖИВОЙ ЗВУК» У ДЕТЕЙ
С НАРУШЕНИЯМИ СЛУХА В РЕСПУБЛИКЕ ТЫВА

**И.А. Игнатова, Л.И. Покидышева,
О.В. Скиданова, О.И. Зайцева** 100

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ
НА УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В ЗОНЕ
ВЛИЯНИЯ ЛЕСНОЙ ПОЛОСЫ

Е.В. Семинченко 114

АКВАКУЛЬТУРА В КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ.
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

М.С. Дурсенев, С.А. Чиркин 128

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

АДАПТИВНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ БИОХИМИЧЕСКИХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧЕК И КРОВИ РУКОКРЫЛЫХ
РОДА НЕТОПЫРЬ, ОБИТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ
БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

**Е.Н. Карпенко, Е.В. Зайцева, Л.Н. Анищенко,
А.Л. Харлан, Н.Н. Крикливый** 138

ВЛИЯНИЕ ИНОКУЛЯЦИИ *RHIZOBIUM LEGUMINOSARUM*
И *AZOTOBACTER CHROOCOCCUM* НА СОДЕРЖАНИЕ
НЕГАТИВНЫХ АЛЛЕЛОПАТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ
В КОРНЕВЫХ ЭКССУДАТАХ ПРОРОСТКОВ ГОРОХА
(*PISUM SATIVUM L.*)

**Л.Е. Макарова, И.С. Капустина,
А.С. Мориц, С.С. Макаров** 162

АНАЛИЗ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ В КЛЕТКАХ
СУСПЕНЗИОННОЙ КУЛЬТУРЫ *ARABIDOPSIS THALIANA*
С ПОНИЖЕННОЙ ЭКСПРЕССИЕЙ ГЕНА *NDB2*

**И.В. Федосеева, А.И. Катышев, А.В. Федяева,
А.В. Степанов, Г.Б. Борковский** 185

ЭФФЕКТЫ ДЕЙСТВИЯ ФИКОБИЛИПРОТЕИНОВ <i>ARTHROSPIRA PLATENSIS</i> (NORDSTEDT) GOMONT В РАСТИТЕЛЬНЫХ ТКАНЯХ: АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ В ГЛЮКОЗООКСИДАЗНОЙ ТЕСТ-СИСТЕМЕ И РАЗОБЩЕНИЕ ОКИСЛЕНИЯ И ФОСФОРИЛИРОВАНИЯ В МИТОХОНДРИЯХ А.В. Степанов, А.А. Аксенова, Е.А. Полякова, И.В. Федосеева, О.И. Грабельных, Р.Г. Геворгиз	202
МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СПЕРМАТОЗОИДОВ САМЦОВ БЕЛЫХ КРЫС В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТРЕССА И.Ю. Арестова, Е.Г. Шаронова, М.Ю. Куприянова	225
ВОЗМОЖНОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ И КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ЭПИТЕЛИОЦИТОВ ЖЕЛУДКА О.В. Перетяtko, В.Д. Беленюк, О.Л. Москаленко	237
МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	
РАСЧЕТ ИОНООБМЕННОЙ КОЛОННЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ РАСТВОРА ГИДРОКСИДА ЛИТИЯ ОТ АНИОНОВ ХЛОРА А.Б. Голованчиков, О.А. Залипаева, Т.Н. Синенко, Н.А. Прохоренко	245
ВЛИЯНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА НА УСПЕХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО КООПЕРАТИВА (НА ПРИМЕРЕ «ARLA FOODS») С.Г. Головина, И.Н. Миколайчик, А.Л. Полтарыхин, П.В. Журавлев	262
СТРАТЕГИИ СОВЛАДАНИЯ СО СТРЕССОМ У СТУДЕНТОВ ВО ВРЕМЯ ПАНДЕМИИ COVID-19. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВЛАДАЮЩЕГО ПОВЕДЕНИЯ Л.Г. Климацкая, А.А. Дьячук, Ю.Ю. Бочарова, А.И. Шпаков	284

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ И СООБЩЕНИЯ

МЕТААНАЛИЗ АССОЦИИ ПОЛИМОРФИЗМА ГЕНА MSTN RS1805086 С СИЛОВЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ СПОРТСМЕНОВ М.О. Аксенов	303
ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА: АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ Е.В. Стельмашонок, В.Л. Стельмашонок	336
ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ	366

CONTENTS

CARDIOLOGY AND CARDIOVASCULAR MEDICINE

- HEMODYNAMIC FEATURES IN A STRUCTURALLY
DIFFERENT ARTERIAL INTRAORGANIC BIFURCATIONS
OF THE HUMAN HEART BY NUMERICAL MODELING
O.K. Zenin, V.S. Overko, A.V. Dmitriev, I.S. Miltykh 11

INTERNAL MEDICINE

- AGE CHANGES IN THE EXPRESSION LEVEL
OF TIGHT JUNCTIONS MARKERS IN WOMEN
AFTER MYOMECTOMY
A.I. Shapovalova, V.O. Polyakova, T.S. Kleimenova 32

PUBLIC HEALTH AND PREVENTIVE MEDICINE

- PUBLIC HEALTH AND HEALTH CARE DEVELOPMENT
IN THE REGIONS OF RUSSIA
S.N. Ivanova 47

- IMPROVEMENT OF MECHANISMS FOR STATE
MANAGEMENT OF CONTINUOUS IMPROVEMENT
OF QUALITY OF PROVISION OF MEDICAL
SERVICES IN UKRAINE
**O. Karpenko, S. Stavvytska, I. Artemenko,
I. Sidanich, I. Prozhoha** 64

- PSYCHOLOGICAL HEALTH OF ATHLETES
DURING THE COVID-2019 PANDEMIC
P.A. Kislyakov, M.S. Belov, N.P. Konstantinova 77

- EFFECTIVENESS OF THE INFLUENCE OF THE LIVE SOUND
TRAINING SOFTWARE MODULE ON CHILDREN WITH
OTOPATHOLOGY IN THE REPUBLIC OF TYVA
I.A. Ignatova, L.I. Pokidyshcheva, O.V. Skidanova, O.I. Zaitseva 100

AGRICULTURAL SCIENCES

- INFLUENCE OF WEATHER CONDITIONS
ON THE YIELD OF SPRING BARLEY
IN THE FOREST BELT AREA
E.V. Seminchenko 114
- AQUACULTURE IN THE KIROV REGION.
PROBLEMS AND PROSPECTS
M.S. Dursenev, S.A. Chirkin 128

BIOLOGICAL SCIENCES

- ADAPTIVE TRANSFORMATIONS
OF BIOCHEMICAL PARAMETERS OF KIDNEYS
AND BLOOD OF BATS OF THE GENUS *PIPISTRELLUS*,
LIVING IN THE TERRITORY OF THE BRYANSK REGION
E.N. Karpenko, E.V. Zaitseva, L.N. Anishchenko,
A.L. Kharlan, N.N. Krikliiviy 138
- EFFECT OF *RHIZOBIUM LEGUMINOSARUM*
AND *AZOTOBACTER CHROOCOCCUM* INOCULATION
ON THE CONTENT OF NEGATIVE ALLELOPATHIC COMPOUNDS
IN ROOT EXUDATES OF PEA SEEDLINGS (*PISUM SATIVUM L.*)
L.E. Makarova, I.S. Kapustina, A.S. Morits, S.S. Makarov 162
- ANALYSIS OF GENE EXPRESSION
IN *ARABIDOPSIS THALIANA* SUSPENSION CULTURE CELLS
WITH REDUCED *NDB2* GENE EXPRESSION
I.V. Fedoseeva, A.I. Katyshev, A.V. Fedyaeva,
A.V. Stepanov, G.B. Borovskii 185
- EFFECTS OF THE ACTION OF *ARTHROSPIRA PLATENSIS*
(NORDSTEDT) GOMONT PHYCOBILIPROTEINS IN PLANT
TISSUES: ANTIOXIDANT ACTIVITY IN THE GLUCOSE
OXIDASE TEST SYSTEM AND UNCOUPLING OF OXIDATION
AND PHOSPHORYLATION IN MITOCHONDRIA
A.V. Stepanov, A.A. Aksenova, E.A. Polyakova,
I.V. Fedoseeva, O.I. Grabelnykh, R.G. Gevorgiz 202

MORPHOLOGICAL FEATURES OF SPERMATOOZOA FROM MALE WHITE RATS UNDER EXPERIMENTAL STRESS I.Yu. Arestova, E.G. Sharonova, M.Yu. Kupriyanova	225
--	-----

POSSIBILITIES OF ISOLATION AND CULTIVATION OF GASTRIC EPITHELIAL CELLS O.V. Peretyat'ko, V.D. Belenyuk, O.L. Moskalenko	237
--	-----

INTERDISCIPLINARY RESEARCH

CALCULATION OF ION EXCHANGE COLUMN FOR PURIFYING OF LITHIUM HYDROXIDE SOLUTION FROM CHLORINE ANIONS A.B. Golovanchikov, O.A. Zalipaeva, T.N. Sinenko, N.A. Prokhorenko	245
--	-----

THE IMPACT OF HUMAN CAPITAL ON THE SUCCESS OF AN AGRICULTURAL COOPERATIVE (EXAMPLE OF 'ARLA FOODS') S.G. Golovina, I.N. Mikolaychik, A.L. Poltarykhin, P.V. Zhuravlev	262
---	-----

STUDENTS' STRESS COPING STRATEGIES DURING THE COVID-19 PANDEMIC. METHODOLOGY OF RESEARCH Klimatchkaia L.G., Dyachuk A.A., Bocharova Y.Yu., Shpakou A.I.	284
--	-----

SCIENTIFIC REVIEWS AND REPORTS

METAANALYSIS OF MSTN RS1805086 GENE POLYMORPHISM ASSOCIATION WITH STRENGTH INDICATORS OF ATHLETES M.O. Aksenov	303
--	-----

DIGITAL TRANSFORMATION OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX: AN ANALYSIS OF PROSPECTS E.V. Stel'mashonok, V.L. Stel'mashonok	336
---	-----

RULES FOR AUTHORS	366
--------------------------------	-----

В журнале Т. 12, № 5 (2020) опубликована статья авторов Oskorbina M.V., Korotaeva N.E., Suvorova G.G. *Adaptive Peculiarities of Chlorophyll Content Dynamics in Pinus Sylvestris and Picea Obovata Conifers Under Vegetation Conditions In The South Of Eastern Siberia*, pp. 113-127. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2020-12-5-113-127>. Вместо *peculiarites* следует читать *peculiarities*.

Подписано в печать 29.04.2021. Дата выхода в свет 29.04.2021. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 26,93. Тираж 5000 экз. Свободная цена. Заказ SJLSA132/021. Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии «Издательство «Авторская Мастерская». Адрес типографии: ул. Пресненский Вал, д. 27 стр. 24, г. Москва, 123557 Россия.