

ISSN 2658-6649

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

www.discover-journal.ru



Volume 15, Number 1
2023

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

Volume 15, Number 1
2023

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. Оболensk, 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)

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

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

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

Том 15, № 1, 2023 / Vol. 15, No 1, 2023

Учредитель и издатель:
ООО Научно-инновационный
центр

Журнал основан в 2008 году
Зарегистрирован в Федеральной службе
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций
Свидетельство регистрации
ПИ № ФС 77 - 71726 от 30.11.2017 г.

Журнал **включен** в перечень
рецензируемых научных изданий,
входящих в международные реферативные
базы данных и системы цитирования
(Перечень ВАК)

Индексирование и реферирование:

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

**Адрес редакции, издателя
и для корреспонденции:**
Россия, 660127, Красноярский край,
г. Красноярск, ул. 9 Мая, 5 к. 192
E-mail: editor@discover-journal.ru
<http://discover-journal.ru/>

+7 (995) 080-90-42

Founder and publisher:
Science and Innovation Center
Publishing House

Founded 2008
Mass media registration certificate
PI № FS 77 - 71726,
issued November 30, 2017.

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

Indexing and Abstracting:

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

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

+7 (995) 080-90-42

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. Оболensk, 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)

Казыдуб Нина Григорьевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры садоводства, лесного хозяйства и защиты растений агротехнологического факультета (Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, Омск, Российская Федерация)

Калягин Алексей Николаевич, доктор медицинских наук, профессор, МВА, проректор по лечебной работе и последипломному образованию, заведующий кафедрой пропедевтики внутренних болезней (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Иркутск, Российская Федерация)

Козлов Василий Владимирович, кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры общественного здоровья и здравоохранения (Федеральное государственное

ное 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 неоэкологии 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 взрос-

лых 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 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 и научный сотрудник 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)

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)

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 агробιοтехнологий 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)

Nina Kazydub, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Horticulture, Forestry and Plant Protection of the Agrotechnological Faculty (Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russian Federation)

Alexey Kalyagin, Doctor of Medical Sciences, Professor, MBA, Vice-Rector for General Medicine and Postgraduate Education, Head of the Department of Propaedeutics of Internal Diseases (Irkutsk State Medical University, Irkutsk, 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 Profes-

sor of the Department of Ecology and Neoecology (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)

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

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)

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

BIOLOGICAL SCIENCES

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-11-26

УДК 581.1



Научная статья | Физиология растений

**АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ,
СОДЕРЖАНИЕ ИРИДОИДОВ И ФЕНОЛЬНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ В РАСТЕНИЯХ GENTIANA
CRUCIATA L. ИЗ РАЗНЫХ МЕСТ ОБИТАНИЯ****Э. Бименьиндавы, О.А. Тимофеева**

Обоснование. Эколого-географические условия места обитания могут влиять на синтез и накопление различных фитохимических и, следовательно, на биологические эффекты, в том числе, антиоксидантные свойства лекарственных растений. Понимание влияния условий места обитания на биоактивные соединения в лекарственных растениях очень важно для выбора места выращивания и сбора растений с наилучшим содержанием биоактивных веществ, что позволит обеспечить фармакологическую промышленность наиболее качественным сырьем.

Цель данного исследования состоит в изучении накопления иридоидов, фенольных соединений и антиоксидантной активности растения Горечавки крестовидной *G. cruciata* в зависимости от местообитания.

Материалы и методы. Исследование проводили на растениях *G. cruciata*, которые были собраны из трех районов (Лаишевский, Альметьевский и Верхнеуслонский районы) Республики Татарстан. Сумму иридоидов определяли в пересчете на генциопикрозиде, профиль индивидуальных фенольных соединений оценивали методом ВЭЖХ на хроматографической системе высокого давления BIO-RAD (США) на колонке SN-421001911, 5μм, 4×250 мм (США). Детекцию пиков осуществляли посредством двухволнового УФ ВЭЖХ детектора BioLogic QuadTec UV-Vis (США) при длине волны 260 нм. Антиоксидантную активность экстракта *G. cruciata* оценивали по его способности ингибировать аутоокисление адреналина *in vitro*.

Результаты. Были выявлены регионы Республики Татарстана с наилучшим качеством лекарственного сырья, а также факторы, способствующие накоплению различных групп биологически активных веществ в растениях *G. cruciata*. Решающую роль в накоплении иридоидов оказали влажность и тип почв; на синтез фенольных соединений большее влияние оказала влажность, нежели тип почв. Высокая антиоксидантная активность не коррелировала с содержанием фенольных соединений. По-видимому, высокая антиоксидантная активность обусловлена присутствием иридоидов, которые считаются основными веществами растения рода Горечавки.

Выводы. Альметьевский и Лаишевский районы могут быть рекомендованы для выращивания и сбора лекарственных растения вида *G. cruciata*.

Ключевые слова: *Gentiana cruciata*; антиоксидантная активность; иридоиды и фенольные соединения

Для цитирования. Бименьиндавыи Э., Тимофеева О.А. Антиоксидантная активность, содержание иридоидов и фенольных соединений в растениях *Gentiana cruciata* L. из разных мест обитания // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №1. С. 11-26. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-11-26

Original article | Plant Physiology

DETERMINATION OF IRIDOID, ANTIOXIDANT ACTIVITY AND PHENOLIC COMPOUNDS BY HPLC METHOD IN PLANTS *GENTIANA CRUCIATA* L. FROM DIFFERENT GROWTH PLACE

E. Bimenyindavyi, O.A. Timofeeva

Background. The ecological and geographical conditions of the habitat may be responsible for the synthesis and accumulation of various bioactive compounds and, therefore, for biological effects, including the antioxidant properties of medicinal plants. Understanding the impact of environmental factors on bioactive compounds in medicinal plants have great importance for choosing a place for growing and harvesting plants with a high content of bioactive compounds, as well as providing the highest quality raw materials in the pharmaceutical industry.

Objective. To study the accumulation of iridoids, phenolic compounds and antioxidant activity in *G. cruciata* plant samples, depending on the growing conditions.

Results. *The regions of the Republic of Tatarstan with the best quality of medicinal raw materials, as well as factors contributing to the accumulation of various groups of biologically active substances in G. cruciate plants, were identified. Humidity and soil type played a decisive role in the accumulation of iridoids; the synthesis of phenolic compounds was more influenced by humidity than the type of soil. However, since the change in antioxidant activity did not correspond to concentration of phenolic compounds, this may be due to the presence of iridoids, which are considered to be the main substances of the plant of the genus Grecian. Their antioxidant activity has been shown in previous studies. In our studies, soil properties seem to have great influence on the production of studied compounds.*

Conclusions. *Almetevsky and Laishevsky districts can be chosen as the optimal place for growing and collecting medicinal plants G. cruciata L.*

Keywords: *Gentiana cruciate; antioxidant activity; iridoids and phenolic compounds*

For citation. *Bimenyindavyi E., Timofeeva O.A. Determination of Iridoid, Antioxidant Activity and Phenolic Compounds by HPLC Method in Plants Gentiana Cruciate L. from Different Growth Place. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 11-26. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-11-26*

Введение

Окислительный стресс является существенным фактором риска развития многих хронических заболеваний, таких, как астма, диабет, болезни Паркинсона и Альцгеймера, рак, и др. Также считается, что активные формы кислорода ответственны за преждевременное старение человека [7]. При употреблении природных антиоксидантных соединений, в частности, фенольных соединений, из организма удаляются свободные радикалы, такие, как пероксид водорода, гидроксильный радикал, гидроперекисный и пероксидный анионы, липидные радикалы, пероксиды, гидропероксиды и, таким образом, происходит ингибирование окислительных процессов, которые приводят к дегенеративным заболеваниям [22]. Эпидемиологические данные свидетельствуют о пользе природных антиоксидантов из лекарственных растений для здоровья и их вклад в предотвращение сердечно-сосудистых заболеваний, рака, диабета и некоторых дегенеративных заболеваний [15].

Помимо антиоксидантной активности, эти биологически активные вещества, например, фенольные соединения, оказывают противомикробную,

антиканцерогенную, противовоспалительную и другие биологические активности [19].

Учитывая широкий спектр активностей фенольных соединений, в настоящее время возрос интерес к лекарственным растениям для профилактики некоторых хронических или дегенеративных заболеваний, поскольку они являются одним из важных источников природных антиоксидантов, в том числе, фенольных соединений [23].

Горечавка крестовидная (*Gentiana cruciata* L.) известна как лекарственное и декоративное растение, относящееся к семейству *Gentianaceae*. Данное растение является источником важных фитохимических веществ, обладающие многими лечебными свойствами [14]. При этом настойки и водные экстракты этого растения применяется в народной медицине как средства, улучшающее пищеварение, при заболеваниях желудочно-кишечного тракта (потеря аппетита, диспепсия, ахилия), а также как седативное средство [2]. Кроме того, показано что, экстракт корни горечавки крестовидной стимулируют выработку лейкоцитов. Некоторые фармакологические свойства растения *G. cruciata* были исследованы и выявлены: противовоспалительная, антихолинэстеразная, антигенотоксическая, антисептическая, антиоксидантная, антибактериальная и противогрибковая активности. Исследование фитохимического состава показало, что листья и корни горечавки крестовидной богаты такими биологически активными веществами, как, иридоиды, в частности, секоиридоиды и их гликозиды (генциопикрин, сверозид, генциопикрозид, амарогенцин и свертиамарин) [26, 8] и фенольные соединения [12].

Учитывая высокий интерес к вторичным метаболитам растительно-го происхождения для разработки пищевых продуктов, косметических средств, современных лекарств, средств защиты растений, представляет интерес изучение новых растений с наиболее высоким содержанием биологических активных веществ. Известно, что содержание биологически активных веществ значительно зависит от различных факторов окружающей среды [16-18, 25]. Однако в природных условиях, когда на растения оказывает влияние целый комплекс факторов, необходимо знать, какие же из них в первую очередь наиболее важны для увеличения количества различных групп веществ вторичного метаболизма в определенном виде растения в том или ином регионе.

Цель данного исследования состоит в изучении накопления иридоидов, фенольных соединений и антиоксидантной активности растения Горечавки крестовидной в зависимости от местообитания в Республике Татарстан.

Материалы и методы

Исследование проводилось на растениях вида *G. cruciata* (Горечавка крестовидная), собранных в период цветения в трех районах Республики Татарстан в 2019 г. Характеристики регионов представлены в таблице 1. Растения были высушены в тени. Для проведения эксперимента в первую очередь растения разделяли на отдельные органы (листья, стебли, цветы). Далее измельчали сырье до порошкообразного состояния, и использовали для приготовления экстракта. Для количественного определения суммы иридоидов использовали методику [3] в пересчете на генциопикрозид.

Содержание суммы иридоидов в пересчете на генциопикрозид в абсолютно сухом сырье в процентах (X) вычисляли по формуле:

$$X = \frac{A \cdot 100 \cdot 100}{E_{1\text{см}}^{1\%} \cdot a \cdot (100 - W)}$$

$E_{1\text{см}}^{1\%}$ – справочный удельный показатель поглощения стандартного образца генциопикрозида при длине волны 512 нм, равный 45,58;

A – навеска сырья, г;

W – влажность сырья, %.

Для проведения хроматографического анализа первоначально проводили спиртовую экстракцию фенольных соединений в 70 % этаноле на водяной бане в течение 90 мин [6]. Далее была проведена идентификация фенольных соединений методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографической системе высокого давления BIO-RAD (США). Использовали оригинальную колонку SN-421001911, 5μм, 4×250 мм (США). Детекцию пиков осуществляли посредством двуволнового УФ ВЭЖХ детектора BioLogic QuadTec UV-Vis (США) при длине волны 260 нм. В качестве подвижной фазы использовали 98 % воды, 1 % уксусной кислоты, 1 % ацетонитрила (раствор А) и 99 % ацетонитрила, 1 % уксусной кислоты (Б). Элюирование: линейный градиент подвижной фазы А в фазе В составлял 30-80 % от 0 до 9 минут с последующим изократическим элюированием 80 % фазы А в фазе В от 9 до 15 минут; скорость потока составляла 1 мл / мин. ВЭЖХ проводили при комнатной температуре (25±2 °С). Для идентификации пиков, выявляемых на хроматограмме, использовали стандарты: кверцетин, протоктехоновая кислота, хлорогеновая кислота, лютеолин, кэмпферол, цис-5-, кумаровая кислота, бензойная кислота, феруловая кислота, кофейная кислота, синнаповая кислота.

Антиоксидантную активность экстракта оценивали по его способности ингибировать аутоокисление адреналина *in vitro* и тем самым предотвращать образование активных форм кислорода [4].

Повторность опытов – 5-ти кратная. Статическая обработка результатов была проведена с использованием Microsoft Excel.

Таблица 1.

Гео-климатические характеристики регионов сбора, 2019 г.

источник www.nuipogoda.ru

| Регион | Температура, °С | Осадки, мм | Географическая зона | Почва |
|-----------------|-----------------|------------|-----------------------|------------------------------------|
| Верхнеуслонский | 14, 4 | 485 | Широколиственные леса | Светло-серые лесные и серые лесные |
| Лаишевский | 14, 8 | 397 | Широколиственные леса | Светло-серые |
| Альметьевский | 14, 2 | 535 | Лесостепь | Черноземные |

Результаты и обсуждение

Биологически активные соединения в лекарственных растениях могут изменяться в зависимости от места произрастания растений и погодных условий, что потенциально может влиять на качество сырья. В нашем исследовании наблюдали различия в содержании (суммы) иридоидов в пересчете на генциоприкозид среди растения *G. cruciata* из разных мест обитания ($p < 0.05$). Наибольшее значение найдено в листьях растений из Альметьевского района (рис. 1). Этот район отличается черноземными почвами и большим количеством осадков, по сравнению с другими исследуемыми регионами (табл. 1). В других исследованиях также была показана зависимость накопления генциоприкозида от географических, климатических (температура и осадки), а также от эдафических факторов, таких как микро- / макроэлементы и pH почвы [25]. Sadia et al., доказали значимое влияние азота, pH и высоты над уровнем моря на содержание генциопирикозида в растениях *Gentiana macrophylla* Pall [17]. В нашем исследовании мы показали, что на повышение содержания генциопирикозида в *G. cruciata* влияли зональность, влажность и тип почв.

Помимо иридоидов, экстракт травы *Gentiana cruciata* L. содержат фенольные соединения, в т.ч. флавоноиды, дубильные вещества, ксантоны [8, 12]. Показано, что факторы окружающей среды, такие, как минеральные вещества (фосфора, калия), температура, влажность, высота над уровнем моря и др., могут влиять на уровни фенольных соединений в разных видах растений [16]. Фенольные соединения растений синтезируются через шикиматный / фенилпропаноидный путь.

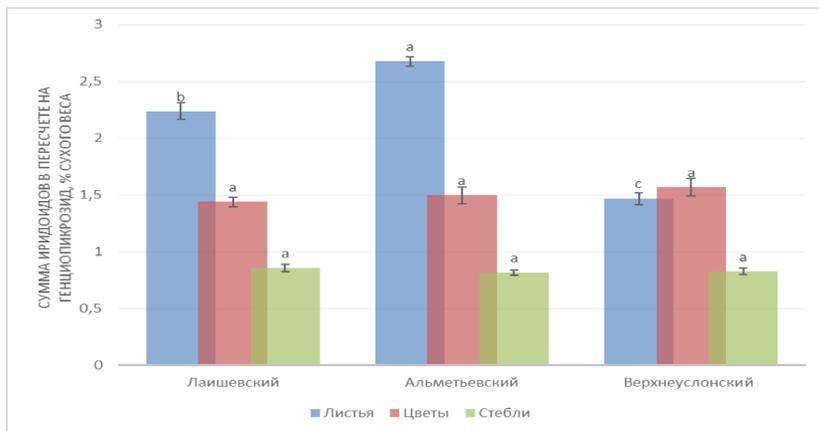


Рис. 1. Содержание иридоидов в пересчете на генциопикрозид.

Одинаковыми буквами обозначено отсутствие статистически значимых отличий между растениями и при $p < 0.05$.

Согласно данным литературы, повышение содержания фенольных соединений происходит за счет активации многих ключевых генов, кодирующие основные ферменты этого пути, включая фенилаланин-аммиак-лиазу (ФАЛ), халкон-синтазу, шикиматдегидрогеназу, циннамилловый спиртдегидрогеназу и полифенолоксидазу, которая происходит при действии различных стрессоров (засуха, дефицит минеральных веществ, засоленность, УФ-излучение, присутствие тяжелых металлов и т. д.) [18]. Другими словами, фенольные соединения синтезируются в оптимальных условиях, но высокий их уровень наблюдается при неблагоприятных условиях. Изучение профиля индивидуальных фенольных соединений методом ВЭЖХ в растениях *G. spicata* из разных мест обитания показало, что растения богаты разными фенольными соединениями с преобладанием синнаповой кислоты и кверцетина. В растениях из Верхнеуслонского района преобладала синнапоновая кислота в то время, как в растениях из Альметьевского района было отмечено преобладание кверцетина, и в растениях из Лаишевского района – кверцетина и синнаповой кислоты (рис. 2-4). Стоит отметить, что условия Лаишевского района способствовали большому разнообразию фенольных соединений, по сравнению с другими районами. Данный район находится в зоне хвойно-широколиственных лесов, характеризуется наименьшим количеством осадков и светло-серыми почвами. Этот тип почв характеризуются относительно рН и низкой плодородностью [5]. Общеизвестно, что кислые почвы характери-

зуются высокой концентрацией микроэлементов, в частности, алюминия и железа [1]. Растения, которые растут на таких почвах, подвергаются стрессу, вызванным металлами, в результате чего растения усиливают биосинтез фенолов. Фенолы обладают антиоксидантными свойствами и защищают растение от окислительного стресса, который возникает в ответ на действие тяжелых металлов, вызывает образование АФК в растении и в конечном итоге приводит к замедлению роста [11]. В исследованиях Ismail, et al. 2016, растения *C. nutans*, растущие на кислых почвах, содержали высокое содержание фенольных соединений, по сравнению с растениями нейтральных почв [9]. Однако растения из Верхнеуслонского района тоже росли на светлых лесных почвах, тем не менее, разнообразие фенольных соединений там было существенно ниже, по сравнению с Лаишевским районом. По видимому, на синтез фенольных соединений в горечавке крестовидной, большее влияние оказывают условия водообеспеченности, нежели тип почв.

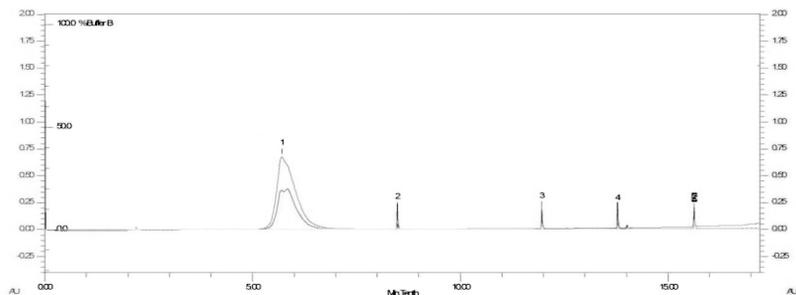


Рис. 2. ВЭЖХ хроматограмма водно-спиртового экстракта *G. sibirica* L. собранного из Верхнеуслонского района. 1 – Синнаповая кислота, 2 – Цис-5-кофеоилхиновая кислота, 3 – кофейная кислота, 4 – Кумаровая кислота, 5 – Цинарозид

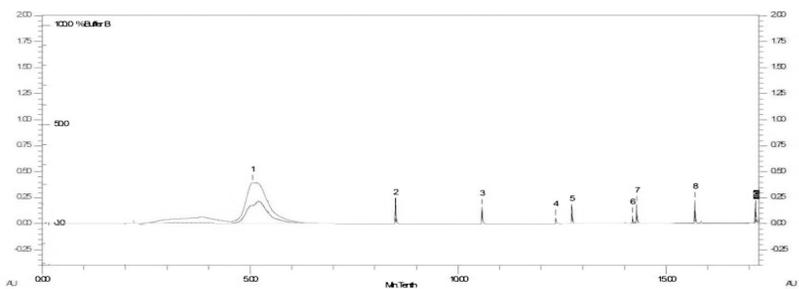


Рис. 3. ВЭЖХ хроматограмма водно-спиртового экстракта *G. sibirica* L. собранного из Альметьевского района. 1 – Кверцетин, 2 – Цис-5-кофеоилхиновая кислота, 3 – Феруловая кислота, 6 – Кумаровая кислота, 8 – Цинарозид.

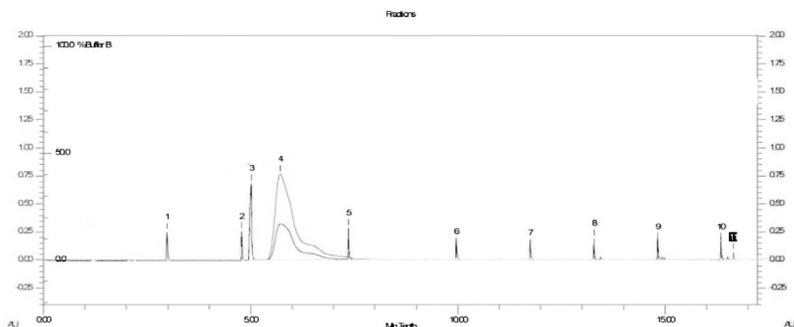


Рис. 4. ВЭЖХ хроматограмма водно-спиртового экстракта *G. sguiciata* L. собранного из Лаишевского района. 1 – Галловая кислота, 2 – Коричная кислота, 3 – кверцетин, 4 – Синаповая кислота, 5 – Протокахетоновая кислота, 6 – Хлорогеновая кислота, 7 – Кофейная кислота, 10 – Лютеолин

Результаты исследований свидетельствуют о том, что условия мест обитания также влияют на антиоксидантные свойства растений [13]. Наши результаты показали, что величина антиоксидантной способности растений *G. sguiciata* зависело от условий окружающей среды. Растения из Альметьевского района показали наиболее высокую антиоксидантную активность, по сравнению с другими районами (рис. 5).

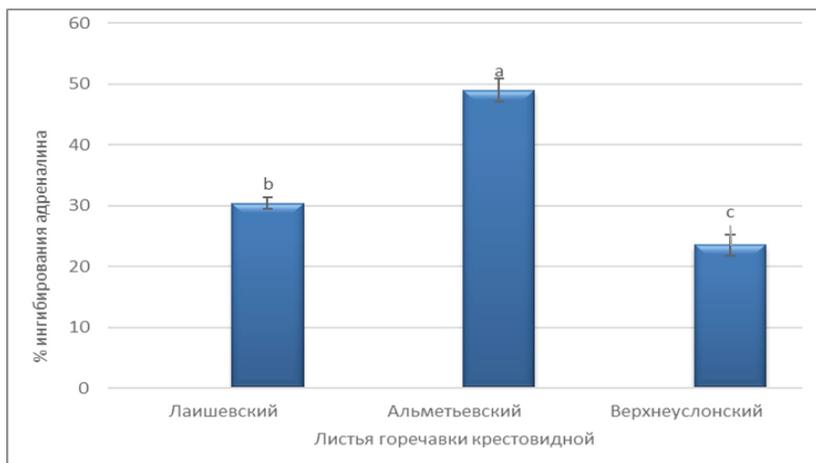


Рис. 5. Антиоксидантная активность экстракта листьев *G. sguiciata*. Одинаковыми буквами обозначено отсутствие статистически значимых отличий между растениями и при $p < 0.05$.

Некоторые исследования свидетельствуют, что антиоксидантная активность связана с содержанием фенольных соединений в растениях [20]. Эти соединения известны как мощные антиоксиданты [24]. Однако в наших экспериментах антиоксидантная активность была высокая в растениях, которые содержат больше гентиопикрозида. Антиоксидантная активность данного вещества также была обнаружена [10, 21]. Кроме того, иридоиды являются основными компонентами растения рода Горечавка. В связи с этим можно полагать, что фармакологический эффект растений *G. cruciata* связан в основном с иридоидами.

Выводы

Наши результаты показывают, что места сбора влияли на содержание исследуемых биоактивных веществ в *G. Cruciate*, что обуславливают различия в антиоксидантной активности. Высокое содержание гентиопикрозида и антиоксидантная активность были обнаружены в растениях *G. cruciata* из Альметьевского района. Решающую роль в накоплении иридоидов оказали влажность и тип почв. Растения из Лаишевского района отличались большим количеством индивидуальных фенольных соединений, на синтез которых большее влияние оказала влажность. Поскольку высокая антиоксидантная активность не коррелировала с содержанием фенольных соединений, можно предположить, что это может быть связано с наличием иридоидов, которые считаются основными соединениями представителей рода Горечавки.

Список литературы

1. Бовина Н. В. Экологическая оценка влияния применения различных систем удобрения на гумусовое состояние дерновоподзолистых почв в длительных стационарных опытах. Москва, 2020. 142 с. http://www.old.timacad.ru/catalog/disser/kd/bovina/kd_bovina.pdf
2. Марчиши С. М., Стойко Л. И., Дахим И. С. Определение качественного состава и количественного содержания кислот гидроксикоричных в горечавки крестовидной траве (*Gentiana cruciatal.*) // *Farmatsevtichnyi zhurnal*. 2016. № 3-4. С. 76-81.
3. Рудакова Ю.Г. Фармакогностическое изучение дубровника белого (*Teucrium polium L.*) флоры северного Кавказа. Диссертация на соискание ученой степени кандидата фармакологических наук. Пятигорск, 2015. 166 с.
4. Рябинина Е.И., Зотова Е. Е., Ветрова Е.Н., Пономарева Н. И., Илюшина Т.Н. Новый подход в оценке антиоксидантной активности растительного

- сырья при исследовании процесса аутоокисления адреналина // Химия растительного сырья. 2011. № 3. С. 117–121.
5. Салимзянова И. Н. Агрохимическая оценка почв предкамья Республики Татарстан. Казань, 2004. 158 с.
 6. Хуснетдинова Л.З., Акулов А.Н., Дубровная С.А. Изучение спектра биологически активных флавоноидов травы *Nuregicum perforatum* флоры Республики Татарстан методом высокоэффективной жидкостной хроматографии // Химия растительного сырья. 2017. №4. С. 175-179. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2017041841>
 7. Badakhshan M. P., Subramanion L. J., Lachimanan Y. L., Yeng C., Sreenivasan S. Antioxidant activity of methanol extracts of different parts of *Lantana camara* // *Asian pac j trop biomed.* 2012. Vol. 2(12). P. 960-965. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(13\)60007-6](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(13)60007-6)
 8. Budniak L., Slobodianiuk L., Marchyshyn S., Basaraba R., Banadyga A. The antibacterial and antifungal activities of the extract of *Gentiana cruciata* L. herb. *Phol.* 2021. Vol. 2. P. 188-197. https://pharmacologyonline.silae.it/files/archives/2021/vol2/PhOL_2021_2_A022_Budniak.pdf
 9. Ismail N. Z., Arsad H., Samian M. R., Hamdan M. R. Determination of phenolic and flavonoid contents, antioxidant activities and GC-MS analysis of *Clinacanthus nutans* (Acanthaceae) in different locations // *Agrivita journal of agricultural science.* 2017. Vol. 39(3). P. 335–344. <http://doi.org/10.17503/agrivita.v39i3.1076>
 10. Jin M., Feng H., Wang Y., Yan S., Shen B., Li Z., Haiyan Qin H., Wang Q., Li J., Liu G. Gentiopicroside ameliorates oxidative stress and lipid accumulation through nuclear factor erythroid 2-related factor 2 activation. *Hindawi // Oxidative medicine and cellular longevity.* 2020. Vol. 2020. P. 1-13. <https://doi.org/10.1155/2020/2940746>
 11. Kaur R., Yadav P., Sharma A., Kumar T. A., Kumar V., Kaur K. S., Bhardwaj R. Castasterone and citric acid treatment restores photosynthetic attributes in *Brassica juncea* L. under Cd (II) toxicity // *Ecotoxicol. Environ. saf.*, 2017. Vol. 145. P. 466–475. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.07.067>
 12. Khusnetdinova, L. Z., Salmin E. M. The content of phenolic compounds in *Gentiana cruciata* L. growing in the territory of the Republic of the Tatarstan // *J res med dent sci.* 2020. Vol. 8 (7). P. 109-112.
 13. Liu W., Yin D., Li N., Hou X., Wang D., Li D., Liu J. Influence of Environmental Factors on the Active Substance production and antioxidant activity in *Potentilla fruticosa* L. and its quality assessment // *Scientific reports.* 2016. Vol. 6, 28591. P. 1-18. <https://doi.org/10.1038/srep28591>

14. Mirzaee, F., Hosseini A., Jouybari H.B., Davoodi A., Azadbakht M. Medicinal, biological and phytochemical properties of *Gentiana* species // Journal of traditional and complementary medicine. 2017. Vol. 7(4). P. 400–408. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2016.12.013>
15. Quiroz-González B., García-Mateos R., Corrales-García J.J.E., Colinas-León M.T. Pitaya (*Stenocereus* spp.): an under-utilized fruit // JPACD. 2018. Vol. 20. P. 82-100. <https://www.jpacd.org/jpacd/article/view/30>
16. Rezende W.P., Leonardo L Borges L.L., Santos L. D., Alves M. N., Paula R.J. Effect of environmental factors on phenolic compounds in leaves of *Syzygium jambos* (L.) Alston (Myrtaceae) // Mod Chem appl. 2015. Vol. 3(2). P. 1-6. <https://doi.org/10.4172/2329-6798.1000157>
17. Sadia S., Aftab B., Tariq A., Zhang J., Razaq A. Gentiopicrin and swertiamarin contents in *Gentiana macrophylla* pall. roots along elevation gradient in Donglingshan meadow, Beijing, China. Pak // J. Bot. 2018. Vol. 52(1). P. 1-7. [http://dx.doi.org/10.30848/PJB2020-1\(31\)](http://dx.doi.org/10.30848/PJB2020-1(31))
18. Sharma A., Shahzad B., Rehman A., Bhardwaj R., Landi M., Zheng B. Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress // Molecules. 2019. Vol. 24. P. 1-22. <https://doi.org/10.3390/molecules24132452>
19. Soto-Hernández M., Palma-Tenango M., García-Mateos M. R. Phenolic compound. Biological activity. Croacia: Intech., 2017. 227 p. <https://doi.org/10.5772/63693>
20. Wang Z., Cuiming T., Dai F., Xiao G., Luo G. HPLC determination of phenolic compounds in different solvent extracts of mulberry leaves and antioxidant capacity of extracts // International journal of food properties. 2021. Vol. 24. P. 544-552. <https://doi.org/10.1080/10942912.2021.1904980>
21. Yaoa T., Cuia Q., Liua Z., Wanga C., Zhanga Q., Wang G. Metabolomic evidence for the therapeutic effect of gentiopicroside in a corticosterone-induced model of depression // Biomedicine & pharmacotherapy. 2019. Vol. 120. P. 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2019.109549>
22. Yuanyuan Z., Ping C., Guanghui C., Yongqiang Z. A brief review of phenolic compounds identified from plants: Their extraction, analysis and biological activity // Natural product communications. 2022. Vol. 17(1). P. 1–14. <https://doi.org/10.1177/1934578X211069721>
23. Zahra Z., Mansureh G., Gianluigi B., Ali T. Effects of ecological factors on the antioxidant potential and total phenol content of *Scrophularia striata* Boiss // Scientific reports. 2019. Vol. 9(16021). P. 1-15. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52605-8>

24. Zekeya N., Ibrahim M., Mamiro B., Ndossi H., Kilonzo M., M Kangara M., Chacha, M., Chilongola J., Kideghesho J. Potential of natural phenolic antioxidant compounds from Bersama abyssinica (Meliathacea) for treatment of chronic diseases // Saudi journal of biological sciences. 2022. Vol. 29. P. 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.03.023>
25. Zhanga, J., Zhang Z., Wang Y., Zuo Y., Cai C. Environmental impact on the variability in quality of Gentiana rigescens, a medicinal plant in southwest China // Global ecology and conservation. 2020. Vol. 24. P. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01374>
26. Zhou D., Hou Q., Si Q., Liu J., Yang H. Concentrations of the active constituents of the Tibetan folk medicine Qinjiao (Gentiana sect. cruciata) within and between taxonomic species across the Qinghai-Tibetan plateau // Biochemistry&biodiversity. 2010. Vol. 7(8). P. 2088-2094. <https://doi.org/10.1002/cbdv.200900420>

References

1. Bovina N. V. Environmental assessment of the impact of the use of various fertilizer systems on the humus state of soddy-podzolic soils in long-term stationary experiments. Moscow, 2020, 142 p. http://www.old.timacad.ru/catalog/disser/kd/bovina/kd_bovina.pdf
2. Marchishi S. M., Stoyko L. I., Dakhim I. S. Determination of the qualitative composition and quantitative content of hydroxycinnamic acids in cruciform gentian (Gentiana cruciatal.). *Farmatsevtichnyi zhurnal*, 2016, no. 3-4, pp. 76-81.
3. Rudakova Yu.G. Pharmacognostic study of white dubrovník (Teucrium polium L.) of the flora of the North Caucasus. Dissertation for the degree of candidate of pharmacological sciences. Pyatigorsk, 2015, 166 p.
4. Ryabinina E.I., Zotova E.E., Vetrova E.N., Ponomareva N.I., Ilyushina T.N. A new approach to assessing the antioxidant activity of plant raw materials in the study of the process of adrenaline autoxidation. *Chemistry of vegetable raw materials*, 2011, no. 3, pp. 117–121.
5. Salimzyanova I. N. Agrochemical assessment of soils of the Kama region of the Republic of Tatarstan. Kazan, 2004, 158 p.
6. Khusnetdinova L.Z., Akulov A.N., Dubrovnaya S.A. Study of the spectrum of biologically active flavonoids of the herb Hypericum perforatum of the flora of the Republic of Tatarstan by high performance liquid chromatography. *Chemistry of vegetable raw materials*, 2017, no. 4, pp. 175-179. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2017041841>

7. Badakhshan M. P., Subramanion L. J., Lachimanan Y. L., Yeng C., Sreenivasan S. Antioxidant activity of methanol extracts of different parts of *Lantana camara*. *Asian pac j trop biomed.*, 2012, vol. 2(12), pp 960-965. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(13\)60007-6](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(13)60007-6)
8. Budniak L., Slobodianiuk L., Marchyshyn S., Basaraba R., Banadyga A. The antibacterial and antifungal activities of the extract of *Gentiana cruciata* L. herb. *Phol.*, 2021, vol. 2, pp. 188-197. https://pharmacologyonline.silae.it/files/archives/2021/vol2/PhOL_2021_2_A022_Budniak.pdf
9. Ismail N. Z., Arsad H., Samian M. R., Hamdan M. R. Determination of phenolic and flavonoid contents, antioxidant activities and GC-MS analysis of *Clinacanthus nutans* (Acanthaceae) in different locations. *Agrivita journal of agricultural science*, 2017, vol. 39(3), pp. 335–344. <http://doi.org/10.17503/agrivita.v39i3.1076>
10. Jin M., Feng H., Wang Y., Yan S., Shen B., Li Z., Haiyan Qin H., Wang Q., Li J., Liu G. Gentiopicroside ameliorates oxidative stress and lipid accumulation through nuclear factor erythroid 2-related factor 2 activation. *Hindawi. Oxidative medicine and cellular longevity*, 2020, vol. 2020, pp. 1-13. <https://doi.org/10.1155/2020/2940746>
11. Kaur R., Yadav P., Sharma A., Kumar T. A., Kumar V., Kaur K. S., Bhardwaj R. Castasterone and citric acid treatment restores photosynthetic attributes in *Brassica juncea* L. under Cd (II) toxicity. *Ecotoxicol. Environ. saf.*, 2017, vol. 145, pp. 466–475. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.07.067>
12. Khusnetdinova, L. Z., Salmin E. M. The content of phenolic compounds in *Gentiana cruciata* L. growing in the territory of the Republic of the Tatarstan. *J res med dent sci.*, 2020, vol. 8 (7), pp. 109-112.
13. Liu W., Yin D., Li N., Hou X., Wang D., Li D., Liu J. Influence of Environmental Factors on the Active Substance production and antioxidant activity in *Potentilla fruticosa* L. and its quality assessment. *Scientific reports*, 2016, vol. 6, 28591, pp. 1-18. <https://doi.org/10.1038/srep28591>
14. Mirzaee, F., Hosseini A., Jouybari H.B., Davoodi A., Azadbakht M. Medicinal, biological and phytochemical properties of *Gentiana* species. *Journal of traditional and complementary medicine*, 2017, vol. 7(4), pp. 400–408. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2016.12.013>
15. Quiroz-González B., García-Mateos R., Corrales-García J.J.E., Colinas-León M.T. Pitaya (*Stenocereus* spp.): an under-utilized fruit. *JPACD*, 2018, vol. 20, pp. 82-100. <https://www.jpacd.org/jpacd/article/view/30>
16. Rezende W.P., Leonardo L Borges L.L., Santos L. D., Alves M. N., Paula R.J. Effect of environmental factors on phenolic compounds in leaves of *Syzygi-*

- um jambos (L.) Alston (Myrtaceae). *Mod Chem appl.*, 2015, vol. 3(2), pp. 1-6. <https://doi.org/10.4172/2329-6798.1000157>
17. Sadia S., Aftab B., Tariq A., Zhang J., Razaq A. Gentiopictin and swertiamarin contents in *Gentiana macrophylla* pall. roots along elevation gradient in Donglingshan meadow, Beijing, China. *Pak. J. Bot.*, 2018, vol. 52(1), pp. 1-7. [http://dx.doi.org/10.30848/PJB2020-1\(31\)](http://dx.doi.org/10.30848/PJB2020-1(31))
 18. Sharma A., Shahzad B., Rehman A., Bhardwaj R., Landi M., Zheng B. Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress. *Molecules*, 2019, vol. 24, pp. 1-22. <https://doi.org/10.3390/molecules24132452>
 19. Soto-Hernández M., Palma-Tenango M., García-Mateos M. R. Phenolic compound. Biological activity. Croatia: Intech., 2017, 227 p. <https://doi.org/10.5772/63693>
 20. Wang Z., Cuiming T., Dai F., Xiao G., Luo G. HPLC determination of phenolic compounds in different solvent extracts of mulberry leaves and antioxidant capacity of extracts. *International journal of food properties*, 2021, vol. 24, pp. 544-552. <https://doi.org/10.1080/10942912.2021.1904980>
 21. Yao T., Cuia Q., Liua Z., Wanga C., Zhanga Q., Wang G. Metabolomic evidence for the therapeutic effect of gentiopicroside in a corticosterone-induced model of depression. *Biomedicine & pharmacotherapy*, 2019, vol. 120, pp. 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2019.109549>
 22. Yuanyuan Z., Ping C., Guanghui C., Yongqiang Z. A brief review of phenolic compounds identified from plants: Their extraction, analysis and biological activity. *Natural product communications*, 2022, vol. 17(1), pp. 1–14. <https://doi.org/10.1177/1934578X211069721>
 23. Zahra Z., Mansureh G., Gianluigi B., Ali T. Effects of ecological factors on the antioxidant potential and total phenol content of *Scrophularia striata* Boiss. *Scientific reports*, 2019, vol. 9(16021), pp. 1-15. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52605-8>
 24. Zekeya N., Ibrahim M., Mamiro B., Ndossi H., Kilonzo M., M Kangara M., Chacha, M., Chilongola J., Kideghesho J. Potential of natural phenolic antioxidant compounds from *Bersama abyssinica* (Meliathacea) for treatment of chronic diseases. *Saudi journal of biological sciences*, 2022, vol. 29, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.03.023>
 25. Zhanga, J., Zhang Z., Wang Y., Zuo Y., Cai C. Environmental impact on the variability in quality of *Gentiana rigescens*, a medicinal plant in southwest China. *Global ecology and conservation*, 2020, vol. 24, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01374>

26. Zhou D., Hou Q., Si Q., Liu J., Yang H. Concentrations of the active constituents of the Tibetan folk medicine Qinjiao (*Gentiana sect. cruciata*) within and between taxonomic species across the Qinghai-Tibetan plateau. *Biochemistry&biodiversity*, 2010, vol. 7(8), pp. 2088-2094. <https://doi.org/10.1002/cbdv.200900420>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Бименьиндавыи Эстелла, аспирант, кафедра ботаники и физиологии растений, институт фундаментальной медицины и биологии
Казанский федеральный университет
ул. Кремлевская 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация
efredence@gmail.com

Тимофеева Ольга Арнольдовна, доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой ботаники и физиологии растений, институт фундаментальной медицины и биологии
Казанский федеральный университет
ул. Кремлевская 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация
otimofeeva2008@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Estella Bimenyindavyyi, PhD. Student, Department of Botany, Plant Physiology and Biochemistry Institute of Fundamental Medicine and Biology
Kazan Federal University
18, Kremlyovskaya Str., Kazan, Tatarstan, 420008, Russian Federation
efredence@gmail.com

Olga A. Timofeeva, Dr. of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Botany, Plant Physiology and Biochemistry, Institute of Fundamental Medicine and Biology
Kazan Federal University
18, Kremlyovskaya Str., Kazan, Tatarstan, 420008, Russian Federation
otimofeeva2008@mail.ru

Поступила 25.09.2022

После рецензирования 06.10.2022

Принята 18.10.2022

Received 25.09.2022

Revised 06.10.2022

Accepted 18.10.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-27-41

UDC 636.087.7



Original article | Animal Husbandry

ABOUT NON-TRADITIONAL FEED ADDITIVES INFLUENCE ON SAFETY OF THE YAKUT BREED HORSES LIVE WEIGHT

*M.F. Grigorev, N.M. Chernogradskay, V.A. Soloshenko,
A.I. Grigoreva, D.I. Stepanova*

Horse breeding is one of the rapidly developing branches of animal husbandry in Yakutia. Horses of the Yakut breed are only type of farm animals that are kept year-round in harsh conditions of the sharply continental climate of Yakutia. In winter, animals experience a significant lack of nutrients and minerals. This is due to fact that basic diet consists of natural feed winter pasture and hay. Therefore, the goal was to study the effect of complex feed additives from local natural raw materials on the change in live weight and biochemical composition of the blood of animals. This study used standard animal research methods. The use of non-traditional feed additives in feeding of horses contributed to an increase in the supply of nutrients and minerals to the rations. Improving feeding conditions affected the live weight of horses (live weight loss was 5.75 % u 5.45 %). The change caused by inclusion of non-traditional feed additives in the diets of horses had a positive effect on the morphological and biochemical composition of the blood animals. In horses from the experimental groups, an increase was found in the blood in total protein by 0.50 % and 0.30 %, albumin by 0.36 and 0.20 %, globulin by 0.13 and 0.10 %, hemoglobin by 2.91 and 1.33 %, calcium by 3.56 and 1.29%, phosphorus by 5.71 and 1.90 %. Thus, use of experimental non-traditional feed additives in feeding horses in winter contributes to the best preservation of live weight. This is due to the improvement of mineral and vitamin nutrition in a difficult period of deficiency of macro- and microelements, vitamins in the diets of horses. This improves metabolism, which is reflected in the morphological and biochemical composition of blood of horses.

Keywords: horses; metabolism; feeding; feed additives; resource

For citation. Grigorev M.F., Chernogradskay N.M., Soloshenko V.A., Grigoreva A.I., Stepanova D.I. About Non-Traditional Feed Additives Influence on Safety of the Yakut Breed Horses Live Weight. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 27-41. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-27-41

Научная статья | Животноводство

ВЛИЯНИЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ КОРМОВЫХ ДОБАВОК НА СОХРАННОСТЬ ЖИВОЙ МАССЫ ЛОШАДЕЙ ЯКУТСКОЙ ПОРОДЫ

*М.Ф. Григорьев, Н.М. Черноградская, В.А. Солошенко,
А.И. Григорьева, Д.И. Степанова*

Коневодство является одной из стремительно развивающихся отраслей животноводства Якутии. Лошади якутской породы являются единственным видом сельскохозяйственных животных, которые содержатся круглогодично в суровых условиях резкоконтинентального климата Якутии. В зимнее время животные испытывают значительный недостаток в питательных и минеральных веществах. Это объясняется тем, что основной рацион состоит из подножного корма и сена. Поэтому целью данного исследования являлось изучение влияния комплексных кормовых добавок из местного природного сырья на изменение живой массы и биохимического состава крови животных. В данном исследовании использовались стандартные методы исследования в животноводстве. Использование местных нетрадиционных кормовых добавок в кормлении лошадей способствовало повышению обеспеченности питательными и минеральными веществами рационов. Улучшение условий кормления сказалось на показателях сохранности живой массы лошадей (потери живой массы составили 5,75 % и 5,45 %). Изменения, вызванные включением местных нетрадиционных кормовых добавок в рационы лошадей, положительно сказались на морфологическом и биохимическом составе крови. У лошадей из опытных групп в крови установлено повышение общего белка на 0,50 % и 0,30 %, альбумина на 0,36 и 0,20 %, глобулина на 0,13 и 0,10 %, гемоглобина на 2,91 и 1,33 %, кальция на 3,56 и 1,29 %, фосфора на 5,71 и 1,90 %. Таким образом использование местных экспериментальных нетрадиционных кормовых добавок в кормлении лошадей зимой способствует наиболее лучшему сохранению живой массы. Прежде всего это происходит за счет улучшения минерального и витаминного питания в сложный период дефицита макро- и микроэлементов, витаминов в рационах лошадей. При этом улучшается обмен веществ, что отражается на морфологическом и биохимическом составе крови лошадей.

Ключевые слова: лошади; обмен веществ; кормление; кормовые добавки; ресурс

Для цитирования. Григорьев М.Ф., Черноградская Н.М., Солошенко В.А., Григорьева А.И., Степанова Д.И. Влияние нетрадиционных кормовых добавок на сохранность живой массы лошадей якутской породы // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №1. С. 27-41. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-27-41

Introduction

Yakut horses are traditionally kept in a group assigned to one stallion. Each group of horses has certain routes for feeding and keeping in the natural pastures. Starting from the end of spring and the beginning of summer, animals move to pasture summer keeping, where they intensively recover after a long, hard winter. For grazing - from middle of May to end of October – the beginning of November. In a short period of favorable time (from August to the end of October) animals are well gaining live weight and restore their fatness for the transition to the winter period. Therefore, it is believed that autumn season is the best period for feeding horses, when animals are allowed on grasslands, at this time ambient temperature is more optimal. In winter, individual severely malnourished animals are separated from the main group in a timely manner and fed with hay and oats until necessary fatness is restored. The corral of animals to the base is organized in spring, with aim of effective foaling of mares [1, 3].

When preparing fodder for the maintenance of one animal, an average of up to 0.7 tons of hay of medium quality is planned, depending on productivity of the hayfields. The stock of hay is enough not only to support life of emaciated animals, but also for period of mass foaling. An important feature of the Yakut breed of horses is ability to quickly fatten and gain live weight. These qualities of animals in winter help them successfully overcome the harsh natural and climatic conditions of Yakutia [1, 3].

Scientific novelty. As a solution to improve the nutrition of farm animals, various non-traditional feed additives are included in their diets [4, 10, 11, 13, 14].

The use of various non-traditional feed additives in feeding of farm animals can improve the physiological state, productivity and economic efficiency of production [5, 6, 9, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 20].

The most effective feed additives in conditions of Yakutia include spropels, coniferous flour, zeolite of Khongurinsky deposit and Kempendyay salt [7, 8] and etc.

In this regard, a scientific and practical experiment was carried out to determine the effectiveness of non-traditional feed additives from local natural raw materials on the safety of live weight of Yakut horse breed.

Material and research methods

Scientific and practical experience was carried out on the basis of farm Rumyantsev S.I. Ust-Aldan district of the Republic of Sakha (Yakutia). For the experiment, 3 groups of horses were formed, which were divided into equal groups (n=10). The research was carried out from November to March. The conditions of detention for all experimental animals were same. In accordance with the research program, horses from experimental groups additionally received non-traditional feed additives. Horses of the control group were kept on basic diet, II and III experimental groups received in addition to the main diet 80 and 120 g of coniferous flour together with zeolite-hongurin 0.5 and 0.4 g per kg of live weight with 29 g of Kempendyai salt.

The processing of experimental data was carried out in accordance with the instructions [2].

Coniferous flour contains carbohydrates - 33.3 %, crude protein - 7.8 %, crude fiber - 11.0 %, crude fat - 10.5 %, organic acids - 8.9 %, other substances - 1.1 %, raw ash - 6.2 mg %, Ca - 0.4%, P - 0.3 %, K - 2.5 %, Mg - 0.2 %, Fe - 168 mg, Cu - 13.8 mg, Mn - 221 mg, carotene - 173 mg, vitamin E - 217 mg, vitamin C - 124.0 mg, vitamin B - 7.4 mg%, vitamin P - 28.1 mg.

Zeolite-khongurin contains 75-84 % clinoptilite, up to 10 % montmorillonite, 8-9 % mica and hydromica, up to 4 % quartz. The composition includes SiO_2 - 65,79 %, Al_2O_3 - 12,20 %, NaO - 3,73 %, MgO - 1,15 %, Fe_2O_3 - 1,04 %, K_2O - 1,11 %, CaO - 0,32 %, TiO_2 - 0,19 %.

Kempendyai salt contains NaCl and impurities KCl, CaSO_4 , MgCl_2 .

The results and discussion

In the summer season, horses consumed pasture grass on average 35.0 kg. The summer diet of horses contained metabolic energy - 98.0 MJ, dry matter - 11.73 kg, digestible protein - 733.21 g, crude protein - 1470.38 g, crude fiber - 3570.29 g, calcium - 74.46 g, phosphorus - 52.54 g, magnesium - 24.43 g, iron - 1377.07 mg, copper - 115.19 mg, zinc - 455.55 mg, cobalt - 7.0 mg, manganese - 560.26 mg, iodine - 8.4 mg, carotene - 597.94 mg, vitamin D - 6.53 thousand IU, vitamin E - 594.90 mg, vitamin B₁ - 57.30 mg, vitamin B₂ - 44.47 mg, vitamin B₃ - 83.7 mg, vitamin B₄ - 5650.10 mg, vitamin PP - 280.39 mg.

In the summer season, feeding horses fully meets requirements of feeding standards for nutrients, minerals and biologically active substances. An analysis of the winter diets of horses showed that there is a deficit in some normalized indicators (Table 1).

Table 1.

The composition and nutritional value of average daily diet of horses in winter

| Indicators | Standard | Groups | | |
|---------------------------------|----------|-------------|------------------------|-------------------------|
| | | I - control | II - experi- mental | III - experi- mental |
| Natural feed winter pasture, kg | | 19 | 19 | 19 |
| Oats, kg | | 3.5 | 3.5 | 3.5 |
| the ration contains: | | | | |
| Exchange energy, MJ | 93.8 | 95.8 | 95.8 | 95.8 |
| Dry matter, kg | 11.2 | 9.44 | 9.45 | 9.45 |
| Digestible protein, g | 840 | 907.44 | 925.88 | 940.35 |
| Crude protein, g | 1230 | 1172.78 | 1211.95 | 1217.37 |
| Crude fiber, g | 1900 | 2184.19 | 2191.8 | 2204.41 |
| Calcium, g | 37 | 66.7 | 68.25 | 72.66 |
| Phosphorus, g | 29 | 51.62 | 54.71 | 56.9 |
| Magnesium, g | 15.6 | 17.63 | 18.68 | 19.05 |
| Ferrum, mg | 392 | 1024.06 | 1189.22 | 1225.04 |
| Copper, mg | 78 | 93.48 | 100.62 | 110.52 |
| Zinc, mg | 280 | 323.85 | 331.07 | 333.64 |
| Cobalt, mg | 7 | 3.68 | 4.12 | 4.17 |
| Manganese, mg | 480 | 543.03 | 582.14 | 596.65 |
| Iodine, mg | 7 | 6.05 | 6.25 | 6.29 |
| Carotene, mg | 92 | 98.48 | 121.55 | 134.68 |
| Vitamin D, thousand IU | 4 | 2.35 | 2.49 | 2.78 |
| Vitamin E, mg | 460 | 308.31 | 314.05 | 321.41 |
| Vitamin B ₁ , mg | 55 | 35.04 | 55.26 | 58.18 |
| Vitamin B ₂ , mg | 35 | 39.87 | 45.85 | 46.21 |
| Vitamin B ₃ , mg | 80 | 68.44 | 70.43 | 71.04 |
| Vitamin B ₄ , mg | 5458 | 2189.57 | 2316.7 | 2477.42 |
| Vitamin PP, mg | 272 | 159.44 | 168.49 | 169.26 |

In the winter diets of horses, a lack of iodine and cobalt, as well as all normalized vitamins, has been established. The composition and nutritional value of horse rations when fed with hay and oats is presented in Table 2.

Table 2.

**The composition and nutritional value of diet of horses in winter
when fed with hay**

| Indicators | Standard | Groups | | |
|---------------------------------|----------|-------------|-------------------|--------------------|
| | | I - control | II - experimental | III - experimental |
| Meadowhay, kg | | 9 | 9 | 9 |
| Natural feed winter pasture, kg | | 10 | 10 | 10 |
| Oats, kg | | 2 | 2 | 2 |
| the ration contains: | | | | |
| Exchange energy, MJ | 93.8 | 114.1 | 114.1 | 114.1 |
| Dry matter, kg | 11.2 | 12.75 | 12.76 | 12.76 |
| Digestible protein, g | 840 | 975.5 | 992.97 | 1007.42 |
| Crude protein, g | 1230 | 1198.31 | 1225.5 | 1241.92 |
| Crude fiber, g | 1900 | 2729.23 | 2735.72 | 2749.4 |
| Calcium, g | 37 | 65.95 | 66.48 | 70.88 |
| Phosphorus, g | 29 | 55.68 | 57.97 | 60.45 |
| Magnesium, g | 15.6 | 20.21 | 21.3 | 21.7 |
| Ferrum, mg | 392 | 1076.58 | 1239.46 | 1275.24 |
| Copper, mg | 78 | 92.21 | 99,3 | 109.14 |
| Zinc, mg | 280 | 330.24 | 337.24 | 339.89 |
| Cobalt, mg | 7 | 4.68 | 5.14 | 5.16 |
| Manganese, mg | 480 | 556.26 | 594.87 | 606.74 |
| Iodine, mg | 7 | 6.8 | 7 | 7.04 |
| Carotene, mg | 92 | 106.55 | 129.6 | 139.76 |
| Vitamin D, thousand IU | 4 | 3.3 | 3.34 | 3.37 |
| Vitamin E, mg | 460 | 355.61 | 360.4 | 367.81 |
| Vitamin B ₁ , mg | 55 | 39.4 | 59.52 | 62.43 |
| Vitamin B ₂ , mg | 35 | 41.03 | 46.2 | 47.56 |
| Vitamin B ₃ , mg | 80 | 72.6 | 74.05 | 75.15 |
| Vitamin B ₄ , mg | 5458 | 2370.24 | 2501.12 | 2660.1 |
| Vitamin PP, mg | 272 | 166.86 | 176.22 | 177.14 |

Additional feeding with hay and oats with non-traditional feed additives contributed to improvement of horse rations in terms of the level of provision with mineral and biologically active substances, including vitamins.

Nutrient intake data and analysis of the diets of horses showed the existing deficiency of some trace elements and vitamins depending on season of year. The consumption of feed and nutrients for the maintenance of one horse for the period of experiment is presented in Table 3.

Table 3.

Feed and nutrient requirements for horses

| Indicators | Perday, kg | Duration, days | Total feed, kg | Contained | |
|-----------------------------|------------|----------------|----------------|---------------------|------------------------|
| | | | | Exchange energy, MJ | Digestible protein, kg |
| Meadowhay | 9 | 120 | 1080 | 7452 | 58.3 |
| Natural feed winter pasture | 10 | 150 | 1500 | 4800 | 49.5 |
| Oats | 2,75 | 150 | 412,5 | 4125 | 33 |
| Total | | | | 16377 | |

Based on above, it can be concluded that the use of non-traditional feed additives from local natural raw materials in feeding horses contributed to improving the provision of diets for nutrients, minerals and biologically active substances.

The inclusion of non-traditional feed additives in the daily rations of horses contributed to a significant preservation of live weight in winter season (Table 4).

Table 4.

Change in live weight of horses (M±m), kg

| Groups | Average live weight | | Difference |
|---------------------------|---------------------|------------|-------------|
| | start | end | |
| I - control | 434.7±1.69 | 408.4±2.14 | -26.3±0.91 |
| II - experimental | 435.0±1.98 | 412.5±1.55 | -22.5±1.00* |
| III - experimental | 434.2±1.53 | 410.6±2.18 | -24.6±0.87 |

Note: *P>0.95

When comparing the live weight indicators of horses, it was found that, on average, in animals in the control group, loss of live weight was - 26.3 kg or 6.44 % of initial weight. While in the III experimental group this indicator was slightly better and amounted to -24.6 kg (or 5.75 % of initial live weight). Comparatively better results were obtained by animals from the II experimental group, in which loss of live weight was -22.5 kg (or 5.45 % of initial weight).

Thus, the use of complex feed additives in feeding horses contributed to a better preservation of live weight in winter, due to a more intensive metabolism and efficient use of nutrients and feed energy.

To determine the effect of non-traditional feed additives on physiology of horses, a study of the morpho-biochemical composition of blood was carried out (Table 5).

Table 5.

Morpho-biochemical composition of blood of horses(M±m)

| Indicators | Standard | Groups | | |
|------------------------------------|-----------|-------------|-------------------|--------------------|
| | | I - control | II - experimental | III - experimental |
| start | | | | |
| Total protein, % | 7-9 | 8.17±0.26 | 8.17±0.37 | 8.07±0.33 |
| Albumin, % | 3-5 | 3.77±0.15 | 3.8±0.25 | 3.73±0.15 |
| Globulin, % | 3-6 | 4.4±0.12 | 4.37±0.15 | 4.33±0.19 |
| Leukocytes, X10 ⁹ /l | 5.2-13.9 | 7.5±0.06 | 7.47±0.09 | 7.53±0.09 |
| Erythrocytes, X10 ¹² /l | 6.4-10 | 7,17±0,09 | 7.13±0.07 | 7.1±0.06 |
| Hemoglobin, g/l | 110-170 | 124.67±3.33 | 123.67±2.4 | 123.33±2.33 |
| Phosphorus, mmol/l | 0.7-1.4 | 1.04±0.01 | 1.03±0.01 | 1.02±0.01 |
| Calcium, mmol/l | 2.65-3.25 | 2.98±0.08 | 2.94±0.08 | 2.95±0.09 |
| end | | | | |
| Total protein, % | 7-9 | 8.33±0.15 | 8.83±0.09* | 8.63±0.09 |
| Albumin, % | 3-5 | 3.87±0.24 | 4.23±0.18 | 4.07±0.2 |
| Globulin, % | 3-6 | 4.47±0.12 | 4.6±0.1 | 4.57±0.12 |
| Leukocytes, X10 ⁹ /l | 5.2-13.9 | 7.50±0.06 | 7.1±0.06** | 7.37±0.07 |
| Erythrocytes, X10 ¹² /l | 6.4-10 | 7.27±0.09 | 7.43±0.07 | 7.3±0.06 |
| Hemoglobin, g/l | 110-170 | 126±4.51 | 129.67±3.76 | 127.67±4.63 |
| Phosphorus, mmol/l | 0.7-1.4 | 1.05±0.01 | 1.11±0.01* | 1.07±0.02 |
| Calcium, mmol/l | 2.65-3.25 | 3.09±0.06 | 3.2±0.04 | 3.13±0.03 |

Note: *P>0.95; **P>0.99

At beginning of the experiment, the indicators of biochemical composition of the blood of horses of all groups did not have significant differences. At the end of the accounting period, a trend was established for changes in the content of total protein in blood of experimental horses. Animals of the control group

were inferior to horses from II and III experimental groups in terms of total protein content by 0.50 % ($P>0.95$) and 0.30 %, albumin by 0.36 and 0.20 %, globulin by 0.13 and 0.10 %, hemoglobin by 2.91 and 1.33 %, phosphorus by 5.71% ($P>0.95$) and 1.90 %, calcium by 3.56 and 1.29 %, respectively.

Conclusions

The inclusion of non-traditional feed additives in diets of horses contributed to a better preservation of live weight (of initial weight - 5.75 % and 5.45 %) and stabilization of the blood picture (total protein and fractions, erythrocytes) in the winter period.

Thus, use of non-traditional feed additives from local natural raw materials helps to increase the live weight of horses and improve physiological state. Therefore, the use of non-traditional feed additives in feeding horses in conditions of Yakutia is practical advisable.

References

1. Vinokurov I. N. *Traditsionnaya kul'tura narodov Severa: produktivnoye konevodstvo Severo-Vostoka Yakutii* [Traditional culture of the peoples of the North: productive horse breeding in the North-East of Yakutia]. Novosibirsk, Nauka, 2009, 256 p.
2. Plokhinsky N. A. *Rukovodstvo po biometrii dlya zootekhnikov* [Guide to Biometrics for Zootechnicians]. Moscow, Kolos, 1969, 328 p.
3. Sleptsov I. I., et al. *Proizvodstvo produktsii konevodstva. Otsenka i otbor doynnykh kobyl v usloviyakh Yakutii* [Production of horse breeding products. Evaluation and selection of dairy mares in the conditions of Yakutia]. Yakutsk, Alaas, 2019, 88 p.
4. Ahuja A., Parmar D. Role of minerals in reproductive health of dairy cattle: a review. *International Journal of Livestock Research*, 2017, vol. 7, no. 10, pp. 16-26. <https://doi.org/10.5455/ijlr.20170806042724>
5. Alekseev V. A., Nemtseva E. Y., Evdokimov N. V., Lavrentiev A. Y., Sherne V. S., Petrov N. S., Danilova N. V. The effect of the mineral supplement "Permaid" and vitamin B13 on the productivity of broiler chickens. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 433, no. 1, 012020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/433/1/012020>
6. Golovacheva N. A., Bychkova L. I., Brezhnev L. L., Ivanova Y. S., Klimov V. A. Study of the effect of feed zeolites supplements of the Kholinsky deposit on hematological parameters of representatives of the Leporidae family. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 421, no. 3, 032027. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/421/3/032027>

7. Grigorev M. F., Grigoreva A. I., Popova A. V. Nutrient Metabolism of Young Cattle in the Conditions of Yakutia When Non-Traditional Feed Additives are Included in Their Rations. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. "International Science and Technology Conference (FarEastCon 2020)", 2021, vol. 1079, 062050. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1079/6/062050>
8. Grigoreva A. I., Grigorev M. F., Sysolyatina V. V. Physiological Characteristics of Young Cattle in Central Yakutia When Using Local Non-Traditional Feed Additives in Their Rations. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. "International Science and Technology Conference (FarEastCon 2020)", 2021, vol. 1079, 062051. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1079/6/062051>
9. Ishmuratov K., Vologina Z., Zverkova Z. The effect of feeding Biotin and zeolite on the performance of rumen metabolism in steers during the growing period. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 663, no. 1, 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/663/1/012018>
10. Ivanova O. V., Ivanov E. A., Tereschenko V. A., Efimova L. V., Zaznobina T. V., Frolova O. A. Wood waste of forest industry of Siberia for feeding cows. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 341, no. 1, p. 012095. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/341/1/012095>
11. Lopes M. M., Coutinho T. C., Malafatti J. O. D., Paris E. C., de Sousa C. P., Farinas C. S. Immobilization of phytase on zeolite modified with iron (II) for use in the animal feed and food industry sectors. *Process Biochemistry*, 2021, vol. 100, pp. 260-271. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.10.017>
12. Molyanova G. V., Grigoryev V. S., Ermakov V. V. Correction of physiological, biochemical and productive indicators of farm animals using mineral sorbent. *BIO Web of Conferences*, 2020, vol. 17, 00011. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700011>
13. Satkeeva A. B. Effects on Productivity, Physiology and Biochemistry From Introducing Zeolite Sourced From Lyulinskoye Deposit into Animal Diet. *In International scientific and practical conference "Agro-SMART-Smart solutions for agriculture" (Agro-SMART 2018)*, 2018, pp. 626-630. <https://doi.org/10.2991/agrosmart-18.2018.117>
14. Shevchuk T. V. Nontraditional feed additives in pigs feeding. *Slovak international scientific journal*, 2019, no. 27, pp. 36-41.
15. Tozer P. R., Stokes J. R. A multi-objective programming approach to feed ration balancing and nutrient management. *Agricultural systems*, 2001, vol. 67(3), pp. 201-215. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(00\)00056-1](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(00)00056-1)
16. Tuzov I. N., Ryadchikov V. G., Ratoshniy A. N., Kulikova N. I., Koshchayev A. G. Using Holstein Cattle in Conditions of the Krasnodar Territory. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2018, vol. 10(12), 3160.

17. Ulitko V. E. The use of metabolizable energy and cow productivity depending on the level of dairy feeds fed during their raising period. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 2018, vol. 9(4), pp. 76-80.
18. Ulitko V. E., Pykhtina L. A., Erisanova O. E., Gulyaeva L. Yu. Influence of sorbent additives on quality indicators of meat as raw materials for food production in broiler diet. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 2017, vol. 8(2), pp. 2155-2160.
19. Wenk C. Recent advances in animal feed additives such as metabolic modifiers, antimicrobial agents, probiotics, enzymes and highly available minerals-review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2000, vol. 13(1), pp. 86-95. <https://doi.org/10.5713/ajas.2000.86>
20. Yurina N., Khorin B., Yurin D., Semenenko M., Kuzminova E. The effect of feeding a natural feed additive on the performance of broiler chickens. *E3S Web of Conferences*, 2020, vol. 175, 04001. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202017504001>

Список литературы

1. Винокуров И.Н. Традиционная культура народов Севера: продуктивное коневодство Северо-Востока Якутии. Новосибирск: Наука, 2009. 256 с.
2. Плохинский Н.А. Руководство по биометрии для зоотехников. М.: Колос, 1969. 328 с.
3. Слепцов И.И., и др. Производство продукции коневодства. Оценка и отбор дойных кобыл в условиях Якутии. Якутск, Алаас, 2019. 88 с.
4. Ahuja A., Parmar D. Role of minerals in reproductive health of dairy cattle: a review // *International Journal of Livestock Research*. 2017. Vol. 7. No. 10. P. 16-26. <https://doi.org/10.5455/ijlr.20170806042724>
5. Alekseev V.A., Nemtseva E.Y., Evdokimov N.V., Lavrentiev A.Y., Sherne V.S., Petrov N.S., Danilova N.V. The effect of the mineral supplement “Permaid” and vitamin B13 on the productivity of broiler chickens // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 433. No. 1, 012020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/433/1/012020>
6. Golovacheva N.A., Bychkova L.I., Brezhnev L.L., Ivanova Y.S., Klimov V.A. Study of the effect of feed zeolites supplements of the Kholinsky deposit on hematological parameters of representatives of the Leporidae family // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 421, No. 3. P. 032027. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/421/3/032027>
7. Grigorev M.F., Grigoreva A.I., Popova A.V. Nutrient Metabolism of Young Cattle in the Conditions of Yakutia When Non-Traditional Feed Additives are Included in Their Rations // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*.

- “International Science and Technology Conference (FarEastCon 2020)”. 2021. Vol. 1079. P. 062050. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1079/6/062050>
8. Grigoreva A.I., Grigorev. M.F., Sysolyatina V.V. Physiological Characteristics of Young Cattle in Central Yakutia When Using Local Non-Traditional Feed Additives in Their Rations // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. “International Science and Technology Conference (FarEastCon 2020)”. 2021. Vol. 1079. P. 062051. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1079/6/062051>
 9. Ishmuratov K., Vologina Z., Zverkova Z. The effect of feeding Biotin and zeolite on the performance of rumen metabolism in steers during the growing period // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 663. No. 1. P. 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/663/1/012018>
 10. Ivanova O.V., Ivanov E.A., Tereschenko V.A., Efimova L.V., Zaznobina T.V., Frolova O.A. Wood waste of forest industry of Siberia for feeding cows // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 341. No. 1. P. 012095. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/341/1/012095>
 11. Lopes M.M., Coutinho T.C., Malafatti J.O.D., Paris E.C., de Sousa C.P., Farinas C.S. Immobilization of phytase on zeolite modified with iron (II) for use in the animal feed and food industry sectors // Process Biochemistry. 2021. Vol. 100. P. 260-271. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.10.017>
 12. Molyanova G.V., Grigoryev V.S., Ermakov V.V. Correction of physiological, biochemical and productive indicators of farm animals using mineral sorbent // BIO Web of Conferences. 2020. Vol. 17, 00011. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700011>
 13. Satkeeva A.B. Effects on Productivity, Physiology and Biochemistry From Introducing Zeolite Sourced From Lyulinskoye Deposit into Animal Diet // In International scientific and practical conference “Agro-SMART-Smart solutions for agriculture”(Agro-SMART 2018). 2018. P. 626-630. <https://doi.org/10.2991/agrosmart-18.2018.117>
 14. Shevchuk T.V. Nontraditional feed additives in pigs feeding // Slovak international scientific journal. 2019. No. 27. P. 36-41.
 15. Tozer P.R., Stokes J.R. A multi-objective programming approach to feed ration balancing and nutrient management // Agricultural systems. 2001. Vol. 67(3). P. 201-215. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(00\)00056-1](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(00)00056-1)
 16. Tuzov I.N., Ryadchikov V.G., Ratoshniy A.N., Kulikova N.I., Koshchaev A.G. Using Holstein Cattle in Conditions of the Krasnodar Territory // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. 2018. Vol. 10(12). P. 3160.
 17. Ulitko V.E. The use of metabolizable energy and cow productivity depending on the level of dairy feeds fed during their raising period // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. Vol. 9(4). P. 76-80.
 18. Ulitko V.E., Pykhtina L.A., Erisanova O.E., Gulyaeva L.Yu. Influence of sorbent additives on quality indicators of meat as raw materials for food production

- in broiler diet // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2017. Vol. 8(2). P. 2155-2160.
19. Wenk C. Recent advances in animal feed additives such as metabolic modifiers, antimicrobial agents, probiotics, enzymes and highly available minerals-review // Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 2000. Vol. 13(1). P. 86-95. <https://doi.org/10.5713/ajas.2000.86>
20. Yurina N., Khorin B., Yurin D., Semenenko M., Kuzminova E. The effect of feeding a natural feed additive on the performance of broiler chickens // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 175. P. 04001. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202017504001>

AUTHOR CONTRIBUTIONS

- Mikhail F. Grigorev:** experimental research, interpretation of the results, preparation of the text of the article.
- Natalia M. Chernogradskaya:** experimental research, preparation of the text of the article.
- Vladimir A. Soloshenko:** general guidance of the research direction, preparation of the text of the article.
- Alexandra I. Grigoreva:** experimental research, preparation of the text of the article.
- Daria I. Stepanova:** experimental research, preparation of the text of the article.

ВКЛАД АВТОРОВ

- Григорьев М.Ф.:** экспериментальные исследования, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.
- Черноградская Н.М.:** экспериментальные исследования, подготовка текста статьи.
- Солошенко В.А.:** общее руководство направлением исследования, подготовка текста статьи.
- Григорьева А.И.:** экспериментальные исследования, подготовка текста статьи.
- Степанова Д.И.:** экспериментальные исследования, подготовка текста статьи.

DATA ABOUT THE AUTHORS

- Mikhail F. Grigorev,** Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of General Zootechnics, Faculty of Agricultural technology; Doctoral Student
Arctic State Agrotechnological University; Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

3, Sergelyakhskoe Str., Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), 677007, Russian Federation; Tsentral'naya Str., Krasnoobsk, Novosibirsk region, 630501, Russian Federation
grig_mf@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5910-9268>

Natalia M. Chernogradskaya, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of General Zootechnics, Faculty of Agricultural technology *Arctic State Agrotechnological University*
3, Sergelyakhskoe Str., Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), 677007, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7293-8474>

Vladimir A. Soloshenko, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences
Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences
Tsentral'naya Str., Krasnoobsk, Novosibirsk region, 630501, Russian Federation
sibniptij@ngs.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4741-1777>

Alexandra I. Grigoreva, Senior Lecturer of the Department of Higher Mathematics *North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov*
48, Kulakovsky Str., Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), 677013, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5968-2400>

Daria I. Stepanova, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Energy Supply of the Agroindustrial Complex, Faculty of Engineering
Arctic State Agrotechnological University
3, Sergelyakhskoe Str., Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), 677007, Russian Federation

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Григорьев Михаил Федосеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры общей зоотехнии, Агротехнологический факультет; докторант

*ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет»; Сибирский федеральный научный центр агробιο-технологий Российской академии наук (СФНЦА РАН)
ш. Сергеляхское 3 км, 3, г. Якутск, Республика Саха (Якутия),
677007, Российская Федерация; ул. Центральная, Краснообск, Но-
восибирская область, 630501, Российская Федерация
grig_mf@mail.ru*

Черноградская Наталия Матвеевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры общей зоотехнии, Агротехнологический факультет *ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет»
ш. Сергеляхское 3 км, 3, г. Якутск, Республика Саха (Якутия),
677007, Российская Федерация*

Солошенко Владимир Андреевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, Руководитель научного направления *Сибирский федеральный научный центр агробιο-технологий Рос-сийской академии наук (СФНЦА РАН)
ул. Центральная, Краснообск, Новосибирская область, 630501, Рос-сийская Федерация
sibnptij@ngs.ru*

Григорьева Александра Ивановна, старший преподаватель кафедры высшей математики, Институт математики и информатики *ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»
ул. Кулаковского, 48, г. Якутск, 677013, Республика Саха (Якутия),
Российская Федерация*

Степанова Дария Ивановна, кандидат сельскохозяйственных наук, до-цент кафедры Энергообеспечения АПК, Инженерный факультет *ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет»
ш. Сергеляхское 3 км, 3, г. Якутск, Республика Саха (Якутия),
677007, Российская Федерация*

Поступила 24.06.2022

После рецензирования 11.07.2022

Принята 30.07.2022

Received 24.06.2022

Revised 04.07.2022

Accepted 30.07.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-42-58

УДК 582.572.8(470.47)



Научная статья | Экология

ДИНАМИКА ЖИЗНЕННОСТИ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ *HOLOSTEUM GLUTINOSUM* (M. VIEB.) FISCH. & С.А. MEY. (CARYOPHYLLACEAE) В ЭКОТОННОЙ СИСТЕМЕ «ВОДА-СУША» ПОБЕРЕЖЬЯ ЧОГРАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

*Н.Ц. Лиджиева, П.А. Шаглинов, С.В. Убушаева,
С.С. Уланова, К.А. Бадмаев*

Обоснование. *Оценку структуры ценопопуляций ранневесенних малолетников можно использовать в ходе организации биологического мониторинга на уровне популяций. Такая информация применима также при оценке ситуации в прибрежных экосистемах, для прогнозирования и уменьшения риска их нарушений.*

Цель. *Анализ жизненности ценопопуляций *Holosteum glutinosum* для характеристики их устойчивости в растительных сообществах экотонной системы «вода-суша» побережья Чограйского водохранилища.*

Материалы и методы. *Исследования проводили в вегетационные сезоны 2018, 2019 и 2021 годов в пяти ценопопуляциях *H. glutinosum*, произраставших в растительных сообществах, располагавшихся в структурных блоках экотона.*

Виталитетный спектр популяций получали по методике Ю.А. Злобина [3, 10, 18], виталитетный тип – с помощью критерия Q [3], жизненность популяций – исходя из анализа индекса виталитета IVС [3], степень процветания или депрессивности популяций - индекса IQ [4].

Результаты. *В четырехлетний период исследования в 5 популяциях *H. glutinosum* независимо от локализации их в экотоне значение индекса Q превышает частоту особей низшего класса виталитета, поэтому они отнесены к виталитетному типу «процветающие».*

Значение индексов виталитета весь период исследования наибольшие в ценопопуляции №1, находящейся в флуктуационном блоке. Первый пик возрастания жизненности приходился на ценопопуляцию №1 во флуктуационном, второй – на ценопопуляцию №4 в маргинальном блоках экотона.

Заключение. Ценопопуляции *H. glutinosum* в экотоне имели виталитетный тип «процветающие». Анализ динамики виталитета в ценопопуляциях *H. glutinosum* выявил, что условия, складывающиеся в сообществах флуктуационного и маргинального блоков экотона обеспечивают наибольшую жизнённость популяций № 1 и № 4.

Ключевые слова: *Holosteum glutinosum*; ценопопуляция; жизнённость особи; виталитетная структура ценопопуляции

Для цитирования. Лиджиева Н.Ц., Шаглинов П.А., Убушаева С.В., Уланова С.С., Бадмаев К.А. Динамика жизнённости ценопопуляций *Holosteum glutinosum* (M. Bieb.) Fisch. & C.A. Mey. (Caryophyllaceae) в экотонной системе «вода-суша» побережья Чограйского водохранилища // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №1. С. 42-58. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-42-58

Original article | Ecology

DYNAMICS OF THE VITALITY OF CENOPOPULATIONS OF *HOLOSTEUM GLUTINOSUM* (M. BIEB.) FISCH. & C.A. MEY. (CARYOPHYLLACEAE) IN THE ECOTONE SYSTEM “WATER-LAND” OF THE COAST OF THE CHOGRAI RESERVOIR

*N.Ts. Lidzhieva, P.A. Shaglinov, S.V. Ubushaeva,
S.S. Ulanova, K.A. Badmaev*

Background. The assessment of the structure of cenopopulations of early spring juveniles can be used during the organization of biological monitoring at the population level. Such information is also applicable in assessing the situation in coastal ecosystems, for forecasting and reducing the risk of their violations.

Purpose. Analysis of the viability of *Holosteum glutinosum* cenopopulations to characterize their stability in plant communities of the “water-land” ecotone system of the coast of the Chograi reservoir.

Materials and methods. The studies were carried out in the growing seasons of 2018, 2019 and 2021 in five coenopopulations of *H. glutinosum* growing in plant communities located in the structural blocks of the ecotone.

The vital spectrum of populations was obtained by the method of Yu.A. Zlobin [3, 10, 18], the vital type - using the Q criterion [3], the vitality of populations – based on the analysis of the vital index IVC [3], the degree of prosperity or depression of populations - the IQ index [4].

Results. *During the four-year study period, in 5 populations of *H. glutinosum*, regardless of their localization in the ecotone, the value of the Q index exceeds the frequency of individuals of the lowest class of vitality, therefore they are classified as the “thriving” vital type.*

The value of the vitality indices for the entire period of the study is greatest in the cenopopulation No. 1, located in the fluctuation block. The first peak of the increase in vitality occurred at coenopopulation No. 1 in the fluctuation, the second – at coenopopulation No. 4 in the marginal ecotone blocks.

Conclusion. *The coenopopulations of *H. glutinosum* in the ecotone had a vital type of “thriving”. Analysis of the dynamics of vitality in the coenopopulations of *H. glutinosum* revealed that the conditions prevailing in the communities of fluctuation and marginal ecotone blocks provide the greatest vitality of populations No. 1 and No. 4.*

Keywords: *Holosteum glutinosum; coenopopulation; vitality of an individual; vital structure of coenopopulations*

For citation. *Lidzheva N.Ts., Shaglinov P.A., Ubushaeva S.V., Ulanova S.S., Badmaev K.A. Dynamics of the Vitality of Coenopopulations of *Holosteum glutinosum* (M. Bieb.) Fisch. & C.A. Mey. (Caryophyllaceae) in the Ecotone System “water-land” of the Coast of the Chograi Reservoir. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 42-58. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-42-58*

Введение

Для экотонов и экотонных систем характерна географическая специфичность, что выражается в их своеобразии в разных природных зонах. В аридных регионах выявление структурно-функциональной организации экосистем прибрежных зон приобретает особую актуальность, в связи с тем, что водоемы, преимущественно искусственные, значимой частью структуры ландшафта, создавая основу экологического каркаса и оказывая влияние на биологическое разнообразие региона [9]. Изучение их будет способствовать продолжающемуся в современной экологии развитию и углублению понятия «экотон» [7, 12, 16, 17, 20 и др.].

Для экотонных систем свойственно формирование слабых, недостаточно сложившихся адаптивных механизмов устойчивости, причем на

разных уровнях организации [2]. В биологии, как правило, экотоны изучают на фитоценоотическом и биогеоценоотическом уровнях [8, 13, 19]. Работы, в которых делалась бы попытка исследования этих механизмов на уровне видовых популяций, весьма немногочисленны [11, 15]. В то время как оценку структуры ценопопуляций можно использовать в ходе организации биологического мониторинга на уровне популяций. Такая информация применима также в ходе оценки ситуации в прибрежных экосистемах, для прогнозирования и уменьшения риска их нарушений. Объектом исследования послужили ценопопуляции костенца липкого - *Holosteum glutinosum* (M. Bieb.) Fisch. & C.A. Mey. (Caryophyllaceae) в экотонной системе «вода-суша» прибрежной зоны Чограйского водохранилища. Вид является ранневесенним однолетником, встречается во всех структурных блоках данного экотона и для него характерен высокий уровень адаптивной пластичности.

Цель исследования

Анализ жизненности ценопопуляций *Holosteum glutinosum* для характеристики их устойчивости в растительных сообществах экотонной системы «вода-суша» побережья Чограйского водохранилища.

Материалы и методы исследования

Чограйское водохранилище, в экотонной системе побережья которого проводились наши исследования, расположено в Кумо-Маньчской впадине в долине реки Восточный Маныч, которая сформировалась на сильно засоленных отложениях морского происхождения. Водохранилище треугольной конфигурации, вытянутой в широтном направлении с запада на восток на 48,8 км, наибольшая ширина у плотины составляет 8,8 км. Водохранилище смешанного типа, пополняется водой из рек Терек и Кума по Терско-Маньчскому каналу [15].

Исследования проводили в период, охвативший вегетационные сезоны 2018, 2019 и 2021 годов. Объектами изучения были пять ценопопуляций (ЦП) *H. glutinosum* в разных растительных сообществах, располагавшихся в различных структурных блоках экотонной системы «вода-суша» побережья Чограйского водохранилища [2, 15]. Флуктуационный блок рассматриваемого экотона представлен сантониннополынно-тамариковым (*Tamarix ramosissima* - *Artemisia santonica*) сообществом, в котором произрастает ЦП № 1. Берег водохранилища в этом поясе фестончатого типа вследствие приливов и отливов воды в периоды временного заливания. Почвы блока

влажно-луговые сильнозасоленные солончаковатые с сульфатно-хлоридным типом засоления. Динамический блок имел в основе полынно-тамариковое (*T. ramosissima* - *Artemisia santonica*, *A. austriaca*) сообщество на собственно луговых почвах, которые были практически не засолены. К динамическому блоку приурочена ЦП № 2. Дистантный блок включал злаково-полынное (*Artemisia santonica*, *A. austriaca* - *Poa*) сообщество на лугово-каштановых, незасоленных почвах – место локализации ЦП № 3. Маргинальный блок представлен луковичномятликово-полынным с анабазисом (*Artemisia taurica*, *A. austriaca* - *Poa bulbosa*) сообществом на лугово-каштановых, незасоленных почвах, здесь находится ЦП № 4. Далее распространено зональное полынное (*Artemisia taurica*, *A. austriaca*, *A. lerchiana*) сообщество на лугово-каштановых почвах, с сухой поверхностью почвы, в котором изучалась ЦП № 5.

В каждой ценопопуляции осуществляли случайную выборку, включавшую не менее 30 особей среднегенеративного возрастного состояния [14]. У каждого индивидуума производили учет 13 признаков, характеризовавших генеративную и вегетативную сферу растения.

При оценке жизнестойкости особей *H. glutinosum* индексом виталитета особи (IVI) [3]. Расчет индекса производили по формуле:

$$IVI = \frac{\sum_{i=1}^N X_i^1 / X_i^2}{N},$$

где X_i^1 – значение i -го показателя особи, X_i^2 – среднее значение i -го показателя для всей выборочной совокупности, N – число показателей. Ключевые признаки для проведения анализа жизнестойкости особей *H. glutinosum* выделяли исходя из предварительно выявленных корреляционных связей между ними [10, 18]. Корреляционный анализ позволил отнести к числу ключевых признаков в 2018 году длину надземной части растения, длину цветоножки, высоту растения, длину листа прикорневой, число коробочек на растении; в 2019 году к их числу прибавился признак число коробочек на главном побеге; в 2021 году их число возросло до 9 - число побегов, длина надземной части растения, длина корня, длина цветоножки, длина коробочки, высота растения, длина надземной части растения, число коробочек на растении.

Построение виталитетного спектра осуществляли по методике Ю.А. Злобина [3]. В соответствии с ней все особи выборочных совокупностей ранжировали по индексу виталитета IVI, после чего разбивали на три класса: «а» - с высокой, «б» - со средней, «с» - с низкой жизнестойкостью. Объем среднего класса находили в рамках доверительного интервала среднего значения ($\bar{x} \pm \delta$).

Классификацию ценопопуляций по виталитетному типу проводили по методике Ю.А. Злобина [3]. По ней выделяют три варианта ценопопуляций: процветающие, у которых $Q = \frac{1}{2} (a + b) > c$; равновесные с $Q = \frac{1}{2} (a + b) = c$; депрессивные – имеющие $Q = \frac{1}{2} (a + b) < c$.

Оценку жизненности популяции производили с помощью виталитета (IVC), который рассчитывали по размерным спектрам особей, составляющих ценопопуляцию по формуле:

$$IVC = \frac{\sum_{i=1}^N X_i^1 / X_i^2}{N},$$

где X_i^1 – среднее значение i -го показателя в популяции, X_i^2 – среднее значение i -го показателя за весь период исследования данной популяции, N – число показателей [5, 6].

Наряду с индексом IVC жизненное состояние популяций оценивали с помощью показателя I_Q [5]. Данный индекс рассчитывали, как отношение $(a + b) / c$.

Положительные значения данного отношения свидетельствуют о состоянии процветания, отрицательные – о состоянии депрессии, а равное единице – о равновесном состоянии ценопопуляции.

Погодные данные для периода, в который проходила вегетация *H. glutinosum* (март и апрель месяцы) были получены из архива метеостанции Ики-Бурул (ближайшей к Чограйскому водохранилищу) на сайте www.rp5.ru.

Результаты исследования и их обсуждение

В исследуемых ценопопуляциях *H. glutinosum* отмечали особей всех трех классов жизненности: «а» – высокой, «b» – промежуточной, «с» – низкой. В 2018 году доля растений, выделяемых в высший класс виталитета, имела частоту, варьирующую от 12,2% в ЦП № 3 до 20,5% в ЦП № 2; доля растений промежуточного класса – от 63,3% в ценопопуляции № 1 до 75,6% в ЦП № 3; доля особей низшего класса – от 11,4% в ЦП № 2 до 18,4% в ЦП № 1 (рис. 1).

В 2019 году по мере удаления от уреза воды по последовательным блокам экотонной системы к зональному сообществу отмечали последовательное уменьшение частоты растений высшего класса виталитета от 19,0% в ЦП № 1 до 7,6% в ЦП № 5, увеличение частоты среднего класса – от 66,7% до 74,7% в этих же ценопопуляциях.

В динамике частот особей низшего класса жизненности в этот год подобных тенденций не выявлено (рис. 2).

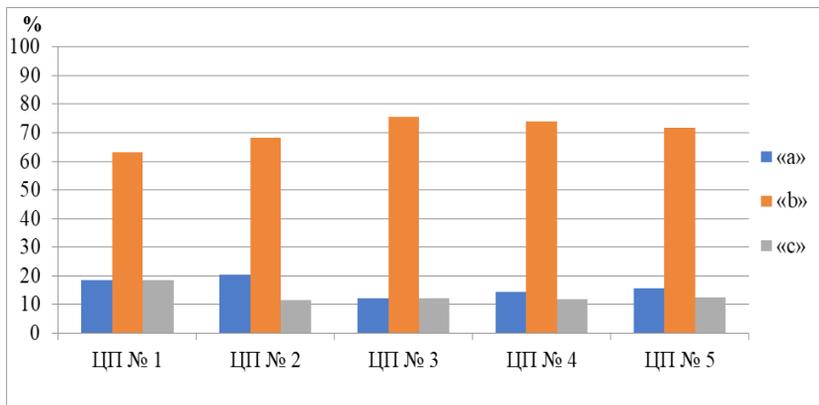


Рис. 1. Встречаемость (%) растений разных классов виталитета в ценопопуляциях *Holosteum glutinosum* в экотонной системе «вода-суша» побережья Чограйского водохранилища в 2018 году

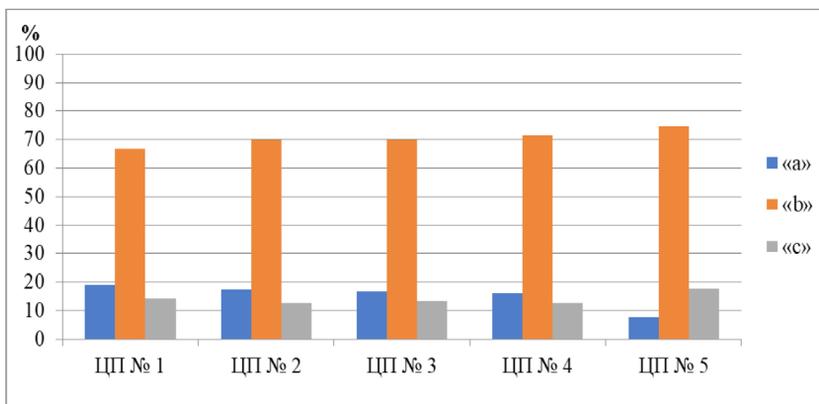


Рис. 2. Встречаемость (%) растений разных классов виталитета в ценопопуляциях *Holosteum glutinosum* в экотонной системе «вода-суша» побережья Чограйского водохранилища в 2019 году

В 2021 году частота растений высшего класса жизнненности варьировала от 7,5% в ЦП № 3 до 20,3% в ЦП № 2. Минимальные и максимальные частоты встречаемости особей промежуточного класса виталитета имели эти же две ценопопуляции и они составили соответственно 62,7% и 75,0%. Доля растений низшего класса виталитета изменялась от 13,7% в ЦП № 5 до 17,5 % в ЦП № 3 (рис. 3).

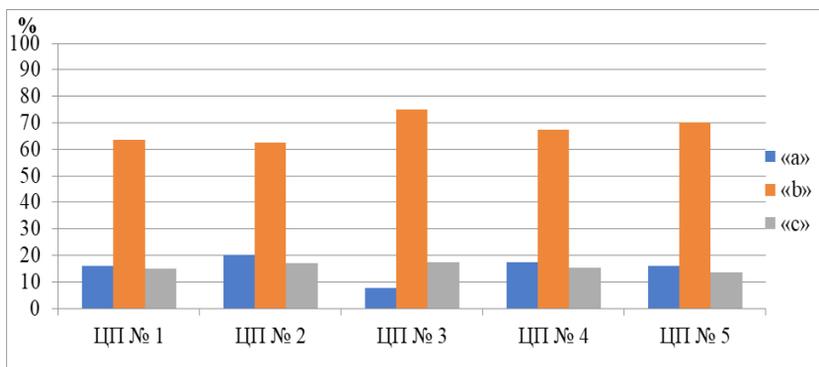


Рис. 3. Встречаемость (%) растений разных классов виталитета в ценопопуляциях *Holosteum glutinosum* в экотонной системе «вода-суша» побережья Чограйского водохранилища в 2021 году

Преобладание в сумме особей высшего и среднего классов виталитета дает основание считать, что в пределах структурных блоков экотонной системы «вода-суша» побережья Чограйского водохранилища имеются благоприятные условия для реализации потенциала роста и развития особей вида. Об этом же свидетельствует анализ значений индекса Q по Ю.А. Злобину [3, 4]. В четырехлетний период исследования в пяти ценопопуляциях *H. glutinosum* из разных блоков экотонной системы значение индекса Q превышает частоту особей низшего класса виталитета, что позволяет оценить их виталитетный тип как «процветающие» (табл. 1).

Жизненность популяции является одной из существенных характеристик ее состояния. Анализ индексов виталитета показал, что весь период исследования он имел наибольшие значения ($IVC = 1,25 - 1,34$) в ценопопуляции №1. Это свидетельствует о том, что для растений *H. glutinosum* наиболее подходящие эколого-ценотические условия складываются в сантониннополынно-тамариковом (*Tamarix ramosissima* - *Artemisia santonica*) сообществе флуктуационного блока экотонной системы (рис. 4, табл. 1).

По сравнению с ценопопуляцией № 1 ценопопуляции № 2 из динамического блока экотонной системы значение индекса виталитета в период исследования меньше на 0,17-0,34, в ценопопуляции № 3 из дистантного блока на 0,45 - 0,52 (табл. 2). В динамике жизненности популяций *H. glutinosum* отмечали два пика ее возрастания. Первый пик приходился на ценопопуляцию № 1 во флуктуационном блоке, второй – на ценопопуля-

цию № 4 в маргинальном блоке экотонной системы, где значение индекса виталитета варьировало от 0,93 в 2021 году до 1,03 в 2019 году (рис. 4).

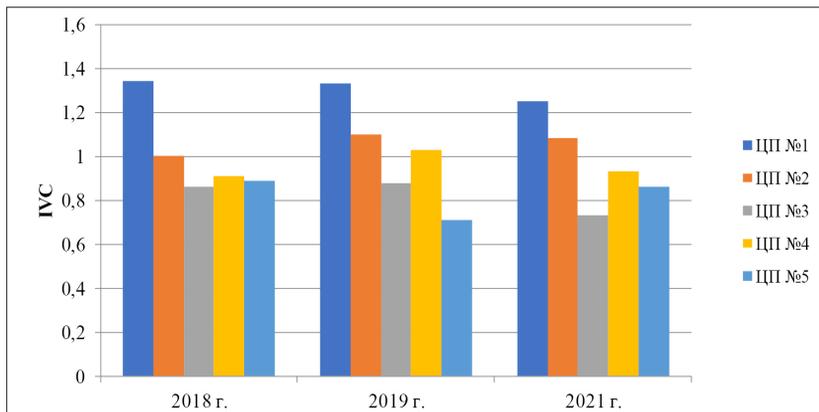


Рис. 4. Динамика виталитета популяций *Holosteum glutinosum* в экотонной системе «вода-суша» побережья Чограйского водохранилища

В ценопопуляции № 5 значение индекса и соответственно жизнённость, вновь понижается на 0,02-0,32. Можно предположить, что луковичномятликово-полынное (*Artemisia taurica*, *A.austriaca* - *Poa bulbosa*) сообщество маргинального блока, в котором произрастает ценопопуляция № 4, находится на границе самого экотона и зональными сообществами и повышение жизнённости популяции обусловлено проявляющимся «краевым эффектом» [1].

Данные по жизнённости ценопопуляций *H. glutinosum* экотонной системы побережья Чограйского водохранилища в разные годы исследования были сопоставлена с такими показателями погоды, как среднемесячная температура и сумма осадков марта и апреля месяцев, на которые приходится жизненный цикл вида. Анализ динамики жизнённости выявил, что ценопопуляции № 1 - № 4, входящие в состав данной экотонной системы, наибольшие значения индекса IVC имели в 2019 году, в то время как в ценопопуляции № 5, произрастающей в составе зонального сообщества, его значение больше коррелирует с суммарным объемом осадков в марте, но не в апреле, где проходит большая часть жизненного цикла. Отличие в динамике жизнённости популяций, приуроченных к разным блокам экотонной системы, по-видимому, обусловлены тем, что они находятся также под влиянием воздействия вод водоема.

Таблица 1.

**Показатели жизнениности и виталитетный тип
ценопопуляций *Holosteum glutinosum* в экотонной системе «вода-суша»
Чограйского водохранилища»**

| Ценопопуляции | Год | IVC | I _Q | Q | Виталитетный тип |
|---------------|------|------|----------------|-------|------------------|
| № 1 | 2018 | 1,33 | 3,00 | 42,85 | процветающий |
| | 2019 | 1,34 | 2,22 | 40,85 | процветающий |
| | 2021 | 1,25 | 2,69 | 39,75 | процветающий |
| № 2 | 2018 | 1,00 | 3,89 | 44,35 | процветающий |
| | 2019 | 1,10 | 3,50 | 43,75 | процветающий |
| | 2021 | 1,08 | 2,46 | 41,50 | процветающий |
| № 3 | 2018 | 0,86 | 3,60 | 43,90 | процветающий |
| | 2019 | 0,88 | 3,26 | 43,35 | процветающий |
| | 2021 | 0,73 | 2,36 | 41,25 | процветающий |
| № 4 | 2018 | 0,91 | 3,70 | 44,05 | процветающий |
| | 2019 | 1,03 | 3,50 | 43,75 | процветающий |
| | 2021 | 0,93 | 2,79 | 42,40 | процветающий |
| № 5 | 2018 | 0,89 | 3,46 | 43,68 | процветающий |
| | 2019 | 0,71 | 2,33 | 41,15 | процветающий |
| | 2021 | 0,86 | 3,15 | 43,15 | процветающий |

Таблица 2.

**Среднемесячные температуры и сумма осадков марта и апреля
по данным архива погоды метеостанции Ики-Бурул сайта www.rp.5.ru**

| Год | Температура (°C) | | | Сумма осадков (мм) | | |
|------|------------------|--------|---------|--------------------|--------|---------|
| | Март | Апрель | Среднее | Март | Апрель | Среднее |
| 2018 | 1,8 | 11,0 | 6,4 | 49,1 | 0,1 | 49,2 |
| 2019 | 5,0 | 10,6 | 7,8 | 19,6 | 36,8 | 56,4 |
| 2021 | 2,1 | 11,3 | 6,7 | 41,3 | 38,1 | 79,4 |

При анализе погодных данных, приведенных в таблице 2, обращает внимание, что в апреле 2018 года в районе исследования почти отсутствовали осадки – 0,1 мм (табл. 2). Однако такой низкий уровень влагообеспеченности в этот месяц не резко отразился на жизнениности, что подтверждается варьированием индекса жизнениности ценопопуляций № 1-4 в составе экотона на уровне 0,86-1,33, а в ценопопуляции № 5 его значение превышает значения индекса в последующие года исследования на 0,03-0,18 (табл. 1). Эти данные также подтверждают заключение о существенном влиянии на развитие растений *H. glutinosum* погодных условий марта, особенно суммарного объема осадков в этом месяце.

Заключение

Исследованные ценопопуляции *H. glutinosum* в экотонной системе «вода-суша» прибрежной полосы Чограйского водохранилища имели виталитетный тип «процветающие». Анализ динамики значений индекса IVC в ценопопуляциях *H. glutinosum* выявил, что условия складывающиеся в сантониннополынно-тамариковом (*Tamarix ramosissima* - *Artemisia santonica*) сообществе флуктуационного блока и луковичномятликово-полынном (*Artemisia taurica*, *A. austriaca* - *Poa bulbosa*) сообществе маргинального блока экотонной системы обеспечивают наибольшую жизнеспособность популяций № 1 и № 4 соответственно.

Список литературы

1. Астахов М.В. Краевой эффект лососевой речки // Проблемы изучения краевых структур биоценозов. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та. 2008. С. 14-18.
2. Залетаев В.С. Структурная организация экотонов в контексте управления // Экотоны в биосфере. М.: РАСХН. 1997. С. 11–30.
3. Злобин Ю.А. Принципы и методы изучения ценологических популяций растений. Казань: издательство Казанского университета. 1989. 146 с.
4. Злобин Ю.А., Скляр В.Г., Клименко А.А. Популяции редких видов растений: теоретические основы и методика изучения. Сумы: Университетская книга, 2013. 439 с.
5. Ишбирдин А.Р., Ишмуратова М.М. К оценке виталитета ценопопуляций *Rhodiola iredemelia* Boriss. по размерному спектру // Фундаментальные и прикладные проблемы популяционной биологии. 2004. С. 80-85.
6. Ишбирдин А.Р., Кливаденко Е.В. Ишмуратова М.М. Адаптивный морфогенез *Solanum tuberosum* // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т.13, № 5(2). С. 76-78.
7. Кафанов А.И. Континуальность и дискретность геомериды: биологический и биотический аспекты // Журнал общей биологии. 2005. Т. 66, № 1. С. 2854.
8. Кириллов С. Н., Холоденко А. В. Природные и антропогенные экотонные системы регионального уровня // Проблемы региональной экологии. 2014. № 5. С. 95–99.
9. Новикова Н.М., Назаренко О.Г. Природные комплексы побережий искусственных водоемов на юге Европейской части России // Аридные экосистемы. 2013. Т. 19, № 3 (56). С. 27-42.
10. Ростова Н.С. Корреляции: структура и изменчивость. СПб.: Изд-во С.-Петербургского ун-та, 2002. 308 с.

11. Сергиенко Л.А., Дьячкова Т. Ю., Андросова В. И. и др. Биоморфология и структура популяций *Plantago maritima* L. по градиенту заливания на побережьях голарктических морей // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2016. № 4 (157). С. 64–71.
12. Соловьева В.В., Розенберг Г.С. Современное представление об экотонах или теория экотонов // Успехи современной биологии. 2006. Т. 126, № 6. С. 531-549.
13. Уланов Н.Э., Шаглин П.А., Лиджиева Н.Ц. Оценка флористического и фитоценотического разнообразия экотонов водохранилища Цаган-Нур // В мире научных открытий. 2017. Т. 9, № 4-2. С. 167-178. <https://doi.org/10.12731/wsd-2017-4-2-167-179>
14. Ценопопуляции растений (основные понятия и структура) / Отв. ред. А.А. Уранов, Т.И. Серебрякова. М.: Наука, 1976. 217 с.
15. Шаглин П.А., Уланова Р.Ю., Уланова С.С., Лиджиева Н.Ц. Архитектурные типы растений в ценопопуляциях *Erophila verna* (L.) Besser. (Brassicaceae) в экотонной системе «вода-суша» побережья Чограйского водохранилища // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20, № 5(4). С. 586-592.
16. Cowardin L.M., Carter V., Golet F.C., Laroe E.T. Classification of Wetlands and Deep-water Habitats of the United States. FWS30BS-79/31. Washington DC, 1979, 131 p.
17. Jenkl. Ecotone and ecolcline: two questionable concepts in ecology. *Ecologia (CSFP)*, 1992, vol. 11, no. 3, pp 243-250.
18. Kashin A.S. et al. State of cenopopulations and morphological variability of *Tulipa gesneriana* (Liliaceae) in the northern Lower Volga region. *Botanicheskiĭ Zhurnal*, 2016, vol. 101, no. 12, pp. 1430-1465.
19. Lidzhieva N.C., Lyu T.N., Onkorova N.T., Ochirova A.S., Ovadykova Zh.V. Edafichesky conditions of growth cenopopulation of types of the sort *Tulipa* in the reserve «The Black soil». Atlantis Press. Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST), 2019, vol. 1, pp. 616-620.
20. Ulanova S.S., Lidzhieva N.C. Environmental monitoring of the Deed-Hulsun reservoir and its adjacent territories. *Biosciences biotechnology research Asia*, 2015, vol. 12 (1), pp. 11-15. <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/1753>

References

1. Astakhov M.V. Kraevoy effekt lososevoy rechki [Salmon river edge effect]. *Problemy izucheniya kraevykh struktur biotsenozov* [Problems of studying the marginal structures of biocenoses]. Saratov: Saratov University Press, 2008, pp. 14-18.

2. Zaletaev V.S. Strukturnaya organizatsiya ekotonov v kontekste upravleniya [Structural organization of ecotones in the context of management]. *Ekotony v biosfere* [Ecotones in the biosphere]. M.: RAAS, 1997, pp. 11–30.
3. Zlobin Yu.A. *Printsipy i metody izucheniya tsenoticheskikh populyatsiy rasteniy* [Principles and methods of studying coenotic plant populations]. Kazan: Kazan University Press, 1989, 146 p.
4. Zlobin Yu.A., Sklyar V.G., Klimenko A.A. *Populyatsii redkikh vidov rasteniy: teoreticheskie osnovy i metodika izucheniya* [Populations of rare plant species: theoretical foundations and research methods]. Sumy: University book, 2013, 439 p.
5. Ishbirdin A.R., Ishmuratova M.M. K otsenke vitaliteta tsenopopulyatsiy *Rhodiola iremelica* Boriss. po razmernomu spektru [To assess the vitality of coenopopulations of *Rhodiola iremelica* Boriss. on the size spectrum]. *Fundamental'nye i prikladnye problemy populyatsionnoy biologii* [Fundamental and applied problems of population biology], 2004, pp. 80-85.
6. Ishbirdin A.R., Klivadenko E.V. Ishmuratova M.M. Adaptivnyy morfogenez *Solanum tuberosum* [Adaptive morphogenesis of *Solanum tuberosum*]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Izvestiya of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2011, vol.13, no. 5(2), pp. 76-78.
7. Kafanov A.I. Kontinual'nost' i diskretnost' geomeridy: bionomicheskii i bioticheskiy aspekty [Geomerid continuity and discreteness: bionomic and biotic aspects]. *Journal of General Biology*, 2005, vol. 66, no. 1, p. 2854.
8. Kirillov S. N., Kholodenko A. V. Prirodnye i antropogennyye ekotonnyye sistemy regional'nogo urovnya [Natural and anthropogenic ecotone systems of the regional level]. *Problemy regional'noy ekologii* [Problems of regional ecology], 2014, no. 5, pp. 95–99.
9. Novikova N.M., Nazarenko O.G. Prirodnye komplekсы poberezhnykh iskusstvennykh vodoemov na yuge Evropeyskoy chasti Rossii [Natural complexes of the coasts of artificial reservoirs in the south of the European part of Russia]. *Aridnye ekosistemy* [Arid ecosystems], 2013, vol. 19, no. 3 (56), pp. 27-42.
10. Rostova N.S. *Korrelyatsii: struktura i izmenchivost'* [Correlations: structure and variability]. Saint-Petersburg: St. Petersburg University Publ., 2002, 308 p.
11. Sergienko L.A., D'yachkova T. Yu., Androsova V. I. i dr. Biomorfologiya i struktura populyatsiy *Plantago maritima* L. po gradientu zalivaniya na poberezh'yakh golarkticheskikh morey [Biomorphology and population structure of *Plantago maritima* L. along the flood gradient on the coasts of the Hol-

- arctic seas]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta* [Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta], 2016, no. 4 (157), pp. 64–71.
12. Solov'eva V.V., Rozenberg G.S. Sovremennoe predstavlenie ob ekotonakh ili teoriya ekotonov [Modern idea of ecotones or theory of ecotones]. *Uspekhi sovremennoy biologii* [Successes of modern biology], 2006, vol. 126, no. 6. pp. 531-549.
 13. Ulanov N.E., Shaglinov P.A., Lidzheva N.Ts. Otsenka floristicheskogo i fitotsenoticheskogo raznoobraziya ekotonov vodokhranilishcha Tsagan-Nur [Assessment of floristic and phytocenotic diversity of ecotones of the Tsagan-Nur reservoir]. *V mire nauchnykh otkrytiy* [In the world of scientific discoveries], 2017, vol. 9, no. 4-2, pp. 167-178. <https://doi.org/10.12731/wsd-2017-4-2-167-179>
 14. *Tsenopulyatsii rasteniy (osnovnye ponyatiya i struktura)* [Cenopopulation of plants (basic concepts and structure)]. M.: Science, 1976, 217 p.
 15. Shaglinov P.A., Ulanova R.Yu., Ulanova S.S., Lidzheva N.Ts. Arkhitekturnye tipy rasteniy v tsenopulyatsiyakh *Erophila verna* (L.) Besser. (Brassicaceae) v ekotonnoy sisteme «voda-susha» poberezh'ya Chograyskogo vodokhranilishcha [Architectural types of plants in cenopopulations of *Erophila verna* (L.) Besser. (Brassicaceae) in the «water-land» ecotone system of the coast of the Chogray reservoir]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Izvestiya of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2018, vol. 20, no. 5(4), pp. 586-592.
 16. Cowardin L.M., Carter V., Golet F.C., Laroe E.T. Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of the United States. FWS30BS-79/31. *Washington DC*, 1979, 131 p.
 17. Jenkl. Ecotone and ecolcline: two questionable concepts in ecology. *Ecologia (CSFP)*, 1992, vol. 11, no. 3, pp 243-250.
 18. Kashin A.S. et al. State of cenopopulations and morphological variability of *Tulipa gesneriana* (Liliaceae) in the northern Lower Volga region. *Botanicheskii Zhurnal*, 2016, vol. 101, no. 12, pp. 1430-1465.
 19. Lidzheva N.C., Lyu T.N., Onkorova N.T., Ochirova A.S., Ovadykova Zh.V. Edafichesky conditions of growth cenopopulation of types of the sort *Tulipa* in the reserve «The Black soil». *Atlantis Press. Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST)*, 2019, vol. 1, pp. 616-620.
 20. Ulanova S.S., Lidzheva N.C. Environmental monitoring of the Deed-Hulsun reservoir and its adjacent territories. *Biosciences biotechnology research Asia*, 2015, vol. 12 (1), pp. 11-15. <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/1753>

ВКЛАД АВТОРОВ

Лиджиева Н.Ц.: разработка концепции научной работы, составление черновика рукописи.

Уланова С.С.: разработка концепции научной работы, редактирование черновика рукописи, написание рукописи.

Шаглинов П.А.: сбор и статистическая обработка данных.

Убушаева С.В.: обзор публикаций по теме статьи.

Бадмаев К.А.: сбор и анализ данных.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Nina Ts. Lidzhieva: study conception and design, drafting of the manuscript.

Svetlana S. Ulanova: study conception, editing of the draft of the manuscript, writing of the manuscript.

Pavel A. Shaglinov: data collection and statistical analysis.

Saglara V. Ubushaeva: reviewing of publications of the article's theme.

Konstantin A. Badmaev: data collection and analysis.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Лиджиева Нина Цереновна, д-р биол. наук, профессор кафедры общей биологии и физиологии

Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова»

*ул. Пушкина, 11, г. Элиста, 358009, Российская Федерация
for-lidzhieva@yandex.ru*

Шаглинов Павел Анатольевич, аспирант

Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова»

*ул. Пушкина, 11, г. Элиста, 358009, Российская Федерация
shaglinov_pa@mail.ru*

Убушаева Саглара Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрономии

Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова»

ул. Пушкина, 11, г. Элиста, 358009, Российская Федерация
E-mail: saglara-u@mail.ru

Уланова Светлана Сергеевна, кандидат географ. наук, доцент кафедры общей биологии и физиологии
Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова»
ул. Пушкина, 11, г. Элиста, 358009, Российская Федерация
E-mail: svetaulanova@yandex.ru

Бадмаев Константин Александрович, магистрант
Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова»
ул. Пушкина, 11, г. Элиста, 358009, Российская Федерация
badmaevkonstantin2022@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Nina Ts. Lidzhieva, Doctor of Biology, Professor Department of General Biology and Physiology
Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikova
11, Pushkin Str., Elista, 358009, Russian Federation
for-lidjjeva@yandex.ru
SPIN-code: 3661-2682
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2668-698X>

Pavel A. Shaglinov, Graduate Student
Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikova
11, Pushkin Str., Elista, 358009, Russian Federation
shaglinov_pa@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8981-485X>

Saglara V. Ubushaeva, Candidate of Agriculture, Associate Professor of the Department of Agronomy
Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikova
11, Pushkin Str., Elista, 358009, Russian Federation
saglara-u@mail.ru

Svetlana S. Ulanova, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor
of the Department of General Biology and Physiology
Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikova
11, Pushkin Str., Elista, 358009, Russian Federation
svetaulanova@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0491-7313>

Konstantin A. Badmaev, Master's student
Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikova
11, Pushkin Str., Elista, 358009, Russian Federation
badmaevkonstantin2022@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4266-5134>

Поступила 25.07.2022

После рецензирования 10.08.2022

Принята 30.08.2022

Received 25.07.2022

Revised 10.08.2022

Accepted 30.08.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-59-76

УДК 58.039:581.149:581.198



Научная статья | Физиология и биохимия растений

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ ИМПУЛЬСНЫМ ДАВЛЕНИЕМ НА ПЕРЕКИСНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ЛИПИДОВ И СОДЕРЖАНИЕ АНТИОКСИДАНТОВ В ЗЕРНОВКАХ ПШЕНИЦЫ В ПРОЦЕССЕ СТАРЕНИЯ

Я.И. Храмова, Е.Э. Нефедьева, В.Н. Храмова

Обоснование. Старение семян заключается в физиолого-биохимических изменениях: активность антиоксидантов (АО) снижается, а перекисное окисление липидов (ПОЛ) приводит к структурному и функциональному ухудшению белков, деградации мембран и ДНК.

Цель. Выявление особенностей антиоксидантной системы зерновок пшеницы с мучнистым и стекловидным эндоспермом в процессе старения и под действием стрессора.

Материалы и методы. Зерновки пшеницы мягкой обрабатывали импульсным давлением (ИД) и хранили 3 года. Определяли всхожесть, содержание АО о-фенантролиновым методом, продукты ПОЛ по реакции малонового диальдегида с тиобарбитуровой кислотой.

Результаты. Всхожесть контрольных зерновок с мучнистым эндоспермом после хранения в течение 3 лет была низкой (20%). У контрольных зерновок со стекловидным эндоспермом всхожесть составляла 27%. ИД способствовало увеличению количества зерновок со стекловидным эндоспермом и всхожести. Содержание АО в контрольных зерновках с мучнистым эндоспермом было выше, чем в стекловидных, а содержание продуктов ПОЛ – ниже. При обработке ИД у стекловидных зерновок содержание АО возросло, у мучнистых – не изменилось относительно контроля. ПОЛ в зерновках, обработанных ИД 11 МПа, было ниже контроля. Повышение ПОЛ при ИД 29 МПа свидетельствует о накоплении повреждений.

Заключение. В процессе хранения зерновок пшеницы всхожесть снизилась за счет появления мертвых зерновок. Наибольшее снижение всхожести наблюдали у зерновок с мучнистым эндоспермом. ИД способствовало витри-

фикации биополимеров, что привело к увеличению всхожести по сравнению с контролем через 3 года хранения. Более высокое содержание АО в зерновках со стекловидным эндоспермом после обработки ИД и хранения способствовало сохранению жизнеспособности зерна в процессе хранения.

Ключевые слова: старение семян; хранение семян; всхожесть; стекловидность зерна

Для цитирования. Храмова Я.И., Нефедьева Е.Э., Храмова В.Н. Влияние обработки импульсным давлением на перекисное окисление липидов и содержание антиоксидантов в зерновках пшеницы в процессе старения // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №1. С. 59-76. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-59-76

Original article | Plant Physiology and Biochemistry

THE INFLUENCE OF THE TREATMENT OF IMPULSE PRESSURE ON LIPID PEROXIDATION AND THE CONTENT OF ANTIOXIDANTS IN WHEAT GRAINS DURING AGING

Ya.I. Khramova, E.E. Nefed'eva, V.N. Khramova

Background. The aging of seeds results in physiological and biochemical changes such as decrease of the activity of antioxidants (AO), and structural and functional degradation of proteins due to lipid peroxidation (LP), as well as degradation of membranes and DNA.

Purpose. Identification of the traits of the antioxidant system of wheat grains with powdery and vitreous endosperm during aging and under the influence of a stressor.

Materials and methods. Soft wheat grains were treated with impulse pressure (IP) and stored for 3 years. Germination was determined. The content AO was determined by the o-phenanthroline method, and LP products were assessed by the reaction of malonic dialdehyde with thiobarbituric acid.

Results. Germination of control seeds with powdery endosperm after storage for 3 years was the lowest (20%). In control part of seeds with vitreous endosperm, germination was 27%. ID increased the amount of seeds with vitreous endosperm and germination. The content of AO in control grains with powdery endosperm was higher than in vitreous grains, and the content of LP products was lower. After the

treatment of IP the content of AO increased in vitreous grains; it did not change as compared to the control in powdery grains. The content of LP products in the grains treated with ID 11 MPa was lower than in the control variant. An increase in POL at ID 29 MPa indicates the accumulation of damage;

Conclusion. *During the storage of wheat grains, germination decreased mainly due to the appearance of dead grains. The greatest decrease in germination was observed in grains with powdery endosperm. IP promoted vitrification of biopolymers which led to an increase in germination as compared to the control after 3 years of storage. A higher content of AO in grains with vitreous endosperm after IP treatment and storage contributed to the preservation of grain viability during storage.*

Keywords: *seed aging; seed storage; germination; grain vitreousness*

For citation. *Khramova Ya.I., Nefed'eva E.E., Khramova V.N. The Influence of the Treatment of Impulse Pressure on Lipid Peroxidation and the Content of Antioxidants in Wheat Grains During Aging. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 59-76. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-59-76*

Введение

Пшеница (*Triticum aestivum* L.) является важной культурой во всем мире. Физиологическое ухудшение качества семян во время хранения тесно связано с последующим урожаем зерна. Семена подвергаются процессам старения, что приводит к постепенному разложению вещества, нарушению обмена веществ и энергии, ограничивает их жизнеспособность и в итоге вызывает потерю всхожести [18]. Хранение семян – важный научный вопрос, связанный с устойчивостью семян к множеству факторов, как внутренних (генетических, структурных, физиологических), так и внешних (микробиота, температура и влажность) [7].

Процесс старения семян заключается в физиолого-биохимических изменениях, происходящих при неблагоприятных условиях хранения, в накоплении ингибиторов роста и токсичных продуктов метаболизма [2; 6]. При старении воздушно-сухих семян в процессе длительного хранения происходят в основном неферментативные реакции, не требующие присутствия большого количества воды [2; 14].

Изменение состояния семян при старении или действии различных факторов связывают с ослаблением стеклообразного состояния биополимеров, гидролизом углеводов и множеством окислительных процессов [20; 15; 16].

По мере старения активность антиоксидантов (АО) семян значительно снижается [20]. Действие свободных радикалов и перекисное окисление

липидов приводят к деградации мембран и ДНК, а также снижается активность большинства ферментов в клетке [14]. Продолжительное хранение семян приводит к повышению концентрации продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ).

Продолжительное хранение приводит к резкому снижению активности каталазы, а также повышению концентрации продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ). По интенсивности протекания ПОЛ в семенах можно оценивать неспецифические адаптационные возможности организма, а по антиоксидантной системе – его компенсаторный потенциал. Эти показатели обычно взаимосвязаны и взаимозависимы [1]. Антиоксидантная система (АОС) выполняет важную роль в поддержании жизнеспособности покоящегося организма. При этом компоненты АОС могут не только обеспечивать продолжительность состояния покоя, но и, при создании благоприятных условий, активировать выход из состояния гипобиоза живых организмов.

Стрессовые воздействия (низкая температура, ультрафиолет, обработка химикатами, импульсное давление и т.п.), могут быть инициаторами окислительных процессов, таких как перекисное окисление липидов. При прорастании семян активируется комплекс окислительно-восстановительных реакций, образуются активные формы кислорода (АФК), которые инициируют разрушение клеточной мембраны, фосфолипидов, структурного и функционального ухудшения белков [6].

Защитой от АФК служит антиоксидантная система. Низкомолекулярные АО способны регулировать содержание свободных радикалов и влиять на величину пероксидазной активности, являясь субстратами пероксидазы. Кроме того, высокие концентрации АО служат индукторами синтеза пероксидазы [20]. Таким образом, устанавливаются взаимная связь и взаимное влияние компонентов АОС. При этом особая роль отводится пероксидазе, которая на начальных этапах прорастания может выступать в качестве инициатора дыхательной активности митохондрий, которые проявляли минимальную активность в покоящихся зерновках.

В ответ на стрессовые воздействия и при старении в тканях растения происходит увеличение содержания продукта ПОЛ – малонового диальдегида (МДА), что связано с активацией свободнорадикальных реакций клетках. Таким образом, содержание МДА может служить показателем активности окислительных процессов, обусловленных кислородными радикалами [22].

У пшеницы в процессе старения снижается всхожесть. Однако электропроводность, содержание МДА и пероксида водорода увеличивались

по мере старения. Растворимые сахара и белки снижались в процессе старения. Неферментативные антиоксиданты, такие как аскорбиновая кислота и пролин, а также антиоксидантные ферменты каталаза, пероксидаза и аскорбатпероксидаза увеличивались до 1-го и 2-го дней искусственного старения, затем они снижались. Увеличение содержания пероксида водорода при старении приводит к повреждению семян. При старении ферментативные антиоксиданты были более эффективными, чем неферментативные антиоксиданты, в удалении АФК [21].

При хранении накапливались органические свободные радикалы, скорее всего, семихиноны, обнаруженные методом электронного парамагнитного резонанса, в то время как глутатион частично терялся и частично превращался в глутатиондисульфид, обнаруженный методом ВЭЖХ [23].

Применение методов влияния на состояние покоя позволяет повысить всхожесть семян при посеве. Предпосевная обработка семян стимуляторами химической природы активизирует развитие микроорганизмов почв в значительно большей степени, чем ускоряет биохимические процессы в семенах [13]. Предпосевная обработка семян различными энергетическими методами (электромагнитное излучение, высокое гидростатическое давление) применяется как эффективный способ пробуждения семенного материала [10; 4].

Цель работы – выявление особенностей антиоксидантной системы зерновок пшеницы с мучнистым и стекловидным эндоспермом в процессе старения и под действием стрессора.

Новым научным положением, направленным на раскрытие механизма реакции семян на внешнее воздействие, является выявление феномена улучшения посевных качеств семян, подвергнутых длительному хранению, после предварительной ИД. Экспериментально доказано, что действие на семена ИД 11 и 29 МПа в течение чрезвычайно малого времени сразу после обработки способствовало снижению всхожести, пропорциональному дозе, но приводило к увеличению доли зерновок со стеклообразным эндоспермом, всхожести, содержания АО и снижению уровня ПОЛ по сравнению с контролем через 3 года хранения.

Материалы и методы исследования

Использовали сорт яровой мягкой пшеницы Саратовская 73, созданный в научно - исследовательском институте сельского хозяйства Юго-Востока. Родословная сорта: Лютесценс 2014/ Tr. timopheevii. Разновидность – грекум. Колос белый, остистый, неопушенный, зерно белое. Колос по форме

цилиндрический, средней крупности и плотности. Колосковая чешуя удлиненно-яйцевидной формы, средних размеров. Нервация колосковой чешуи очень слабо выражена, почти отсутствует. Зубец колосковой чешуи средний, острый, слегка изогнут в сторону плеча. Плечо колосковой чешуи слегка приподнятое или прямое, узкое. Киль выражен сильно, доходит до основания колосковой чешуи. Зерно крупное, яйцевидной формы, стекловидное. Бороздка зерна по ширине средняя, не глубокая. Соломина средней толщины и прочности, длиной на 3 см больше, чем у стандарта. Сорт средне-поздний, вегетационный период - 87 дней. Практически устойчив к пыльной головне, толерантен к бурой листовой ржавчине и мучнистой росе. Высокая зерновая продуктивность по сравнению со стандартом и высокое качество зерна. Максимальная урожайность отмечена на уровне 47,4 ц/га [5].

Семена обрабатывали импульсным давлением (ИД), создаваемым ударной волной, 11 МПа и 29 МПа [8, 9]. При детонации взрывчатого вещества возникает ударная волна, которая передается через воду на семена и создает объемное сжатие в течение 14-25 мксек. Малая продолжительность действия давления позволяет назвать его импульсным.

ИД на фронте ударной волны рассчитывали по формуле [8, 9]:

$$P = 53,3 \cdot \left(\frac{Q^{\frac{1}{3}}}{R} \right)^{1,13}$$

где P – давление, МПа; Q – масса заряда взрывчатого вещества, кг; R – расстояние от центра взрыва до поверхности семян, м.

Для обработки семян растений использовали ИД от 3 до 50 МПа.

Обработку семян проводили в соответствии со схемой, приведенной на рис. 1. На дно контейнера из нержавеющей стали (1) укладывали порошковые кассеты (2) с сухими семенами (3), закрытыми сетчатым материалом. Контейнер (1) заполняли водой (4). В контейнере под водой закрепляли водостойкое взрывчатое вещество (5) с массой Q на расстоянии R от поверхности семян в соответствии с формулой (3). Толщина слоя воды над поверхностью семян соответствовала расчетным данным (52) и составляла 7-13 см. Затем производили детонацию взрывчатого вещества при помощи электродетонатора (7). В одной кассете находилось до 500 г семян, что являлось одной повторностью для всех нижеизложенных экспериментов. После обработки семена высушивали в течение 24 час при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния. Контрольные семена

замачивали в воде в течение времени, соответствовавшего продолжительности пребывания в воде семян при обработке ИД, и подсушивали. Достоинством метода является возможность точной дозировки воздействия, учитывая его уникально малую продолжительность [8].

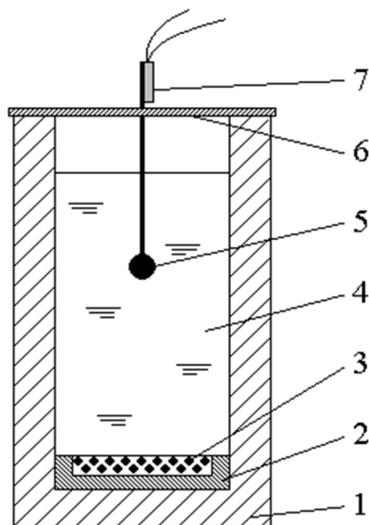


Рис. 1. Схема устройства для обработки семян ИД. Обозначения см. в тексте

Семена, прошедшие обработку в ноябре 2018 г., хранили в упаковке из бумаги или ткани в сухом темном месте при комнатной температуре.

Через 3 года после обработки и хранения (декабрь 2021 г.) зерновки были отсортированы на диафаноскопе на стекловидные (партия С) и мучнистые (партия М).

Определение всхожести проводили согласно ГОСТ 12038-84 Межгосударственный стандарт. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. Отбирали фракцию чистых выполненных семян. Четыре пробы по 50 семян в каждой проращивали рулонным методом. При учете энергии прорастания подсчитывали только нормально проросшие и явно загнившие семена, а при учёте всхожести отдельно подсчитывали нормально проросшие; набухшие, твердые, которые составили непроросшие семена и ненормально проросшие – невсхожие семена. За результат анализа принимали среднее арифметическое результатов определения всхожести всех проанализированных проб.

Содержание антиоксидантов (АО) определяли о-фенантролиновым методом по методу Рогожина [11; 17]. Метод основан на окислении хлоридом железа (III). При этом хлорид железа (III) восстанавливается до хлорида железа (II), количество которого определяли по интенсивности окраски при добавлении о-фенантролина при длине волны 510 нм. Для определения АО 0,5 г сырой массы проростков гомогенизировали в фарфоровой ступке с 1 мл 96%-ного этанолом. Экстракты количественно переносили в центрифужные пробирки, добавляя этанол до общего объема 3 мл. Экстракты центрифугировали в течение 10 минут при 10000 g.

Калибровочную кривую строили по аскорбиновой кислоте; ее концентрация составляла от 2 до 10 мгк•мл⁻¹. В контрольной пробирке содержалось 0,2 мл о-фенантролина (концентрацией 25 ммоль), 2,6 мл 96%-ного раствора этанола, 0,2 мл раствора FeCl₃ (концентрацией 12,3 ммоль), 1 мл раствора соляной кислоты (концентрацией 0,4 моль). Измеряли величину оптической плотности при длине волны 505 нм на спектрофотометре СФ-2000.

В опытную пробирку вносили 0,2 мл экстракта, 0,2 мл о-фенантролина, 0,2 мл раствора FeCl₃. Объем доводили до 3 мл этанолом, реакцию проводили в темноте при комнатной температуре в течение 10 минут. Реакцию останавливали добавлением 1 мл соляной кислоты и измеряли оптическую плотность. Концентрацию АО определяли по калибровочному графику.

Содержание АО, мг•г сыр.м.⁻¹ рассчитывали по формуле

$$AO = \frac{C \cdot V_1 \cdot V_3}{m \cdot V_2 \cdot 1000}$$

где C – концентрация АО, определенная по калибровочному графику, мгк•мл⁻¹;

m – навеска сырого растительного материала, г;

V_1 – объем, взятый для экстракции, мл;

V_2 – объем, вносимый в пробирку, мл;

V_3 – конечный объем пробы в пробирке, мл.

Определяли влажность растительного материала и пересчитывали содержание АО, мгк•г с.м.⁻¹.

Продукты ПОЛ определяли по реакции малонового диальдегида с тиобарбитуровой кислотой [1; 19]. Для этого 0,5 г сырой массы проростков гомогенизировали в фарфоровой ступке с 1 мл реакционной среды, содержащей 0,25%-ный раствор тиобарбитуровой кислоты и 10% раствор трихлоруксусной кислоты. Экстракты количественно переносили в центрифужные пробирки, добавляя реакционную среду до общего объема 4

мл. Пробирки плотно закрывали пробками, содержимое тщательно перемешивали и выдерживали на кипящей водяной бане в течение 30 минут. Затем пробы резко охлаждали и центрифугировали в течение 10 минут при 10000 г. Оптическую плотность измеряли при длине волны 532 и 660 нм на спектрофотометре СФ-2000. Содержание ТБК-реагирующих продуктов (ТБКРП, ммоль г сыр.м.⁻¹) рассчитывали по формуле

$$\text{ТБКРП} = \frac{D_{532} - D_{660}}{155 \cdot m}$$

где D_{532} и D_{660} – соответственно оптическая плотность при длине волны 532 и 660 нм;

155 – коэффициент экстинкции ТБК, ммоль⁻¹ см⁻¹;

m – навеска сырого растительного материала, г

Определяли влажность растительного материала и пересчитывали содержание ТБКРП – продуктов ПОЛ, ммоль•г с.м.⁻¹.

Результаты и обсуждение

Как видно из рис. 1, А, Б, исходная энергия прорастания у контрольных зерновок пшеницы до начала хранения составляла 93-95%, всхожесть – 93,5-95,5%. Увеличение количества нормальных проростков в 8 сут по сравнению с 4 сут произошло за счет перехода аномальных проростков в нормальные. Имеется тенденция уменьшения исходной всхожести у зерновок со стекловидным эндоспермом по сравнению с зерновками с мучнистым эндоспермом.

Обработка ИД 11 МПа способствовала незначительному снижению всхожести главным образом за счет появления аномальных проростков. ИД 29 МПа способствовало существенному снижению энергии прорастания и всхожести как за счет аномальных, так и за счет мертвых зерновок. Это явление вызвано стрессирующим влиянием ИД в малых и больших дозах [12]. Во всех вариантах обнаружена тенденция незначительного уменьшения исходной всхожести у зерновок со стекловидным эндоспермом по сравнению с зерновками с мучнистым эндоспермом.

Через 3 года хранения энергия прорастания (рис. 1, В) и всхожесть (рис. 1, Г) контрольных зерновок с мучнистым эндоспермом была самой низкой (20%). Значительную часть составляли мертвые зерновки. Такое явление является результатом старения зерновок. У контрольных зерновок со стекловидным эндоспермом энергия прорастания составляла 33%, а всхожесть снизилась до 27% за счет появления аномальных проростков. В этом варианте было больше зерновок, способных к прорастанию.

Следовательно, переход в стекловидное состояние продляет жизнь семян [15]. Действие ИД – кратковременное сжатие – способствовало увеличению доли зерновок со стекловидным эндоспермом [16]. Торможение процесса старения при обработке ИД объясняется переходом крахмала из кристаллического в стеклообразное состояние [3]. Результатом явилось повышение энергии прорастания и всхожести, возрастающее с увеличением давления от 11 МПа до 29 МПа.

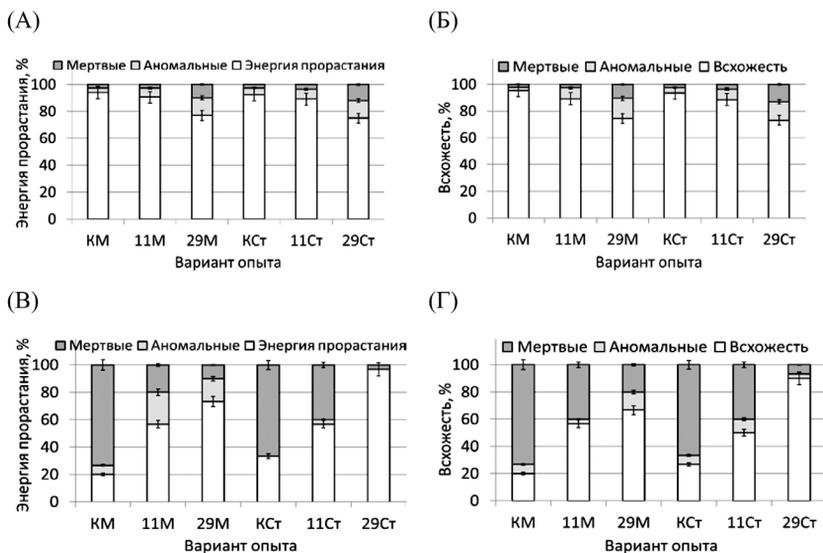


Рис. 2. Энергия прорастания пшеницы, 4 сут: до хранения (А), через 3 года (В) и всхожесть пшеницы, 8 сут: до хранения (Б), через 3 года (Г)

Через 3 года хранения содержание АО (рис. 2 А) в контрольных зерновках с мучнистым эндоспермом было выше, чем в контрольных зерновках со стекловидным эндоспермом, что связано с проявлением специфичности в корреляции компонентов АОС.

При обработке ИД 11 МПа у стекловидных зерновок (С) содержание АО значительно возросло по сравнению с контролем. Это может указывать на повреждения структуры эндосперма и высвобождение соединений с антиоксидантной активностью.

В зерновках с мучнистым эндоспермом (М), обработанных ИД 11 МПа, содержание АО не изменилось по сравнению с контролем. Обработка ИД 11 МПа продляет жизнь семян, ингибируя окислительные реакции.

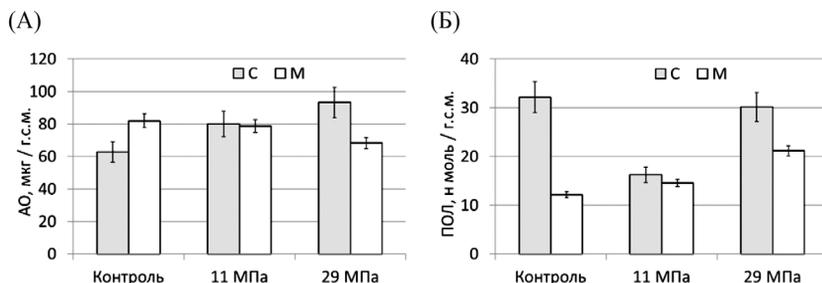


Рис. 3. Содержание антиоксидантов (А) и продуктов ПОЛ (Б) в зерновках

После обработки ИД 29 МПа у стекловидных зерновок также возросло содержание АО, а на мучнистые семена обработка не оказала подобного воздействия.

Следовательно, для партий мягкого сорта пшеницы, в которых преобладают мучнистые зерновки, обработка ИД может быть применена как метод продления состояния покоя.

Как видно на рис. 1 б, в контрольных зерновках со стекловидным эндоспермом партии С по сравнению с партией М содержание продуктов ПОЛ высокое. Содержание продуктов ПОЛ в зерновках, обработанных ИД 11 МПа, было существенно ниже контроля. Это указывает на работу антиоксидантной системы, связывающей свободные радикалы. Повышение ПОЛ при ИД 29 МПа свидетельствует о некоторой избыточности действующего фактора для данного типа семян, в них накапливаются и развиваются микроповреждения.

Таким образом, обработка ИД 11 МПа продляет жизнь семян мягкой пшеницы за счет снижения содержания скорости накопления продуктов ПОЛ.

Заключение

Исследования показали, что в процессе хранения зерновок пшеницы в течение трех лет всхожесть снизилась преимущественно за счет появления в партии мертвых зерновок. Наибольшее снижение всхожести наблюдали у зерновок с мучнистым эндоспермом. ИД как стрессор сразу после обработки способствовало снижению всхожести, пропорциональному дозе, но при этом ИД способствовало сжатию зерна и витрификации биополимеров. Увеличение доли зерновок со стеклообразным эндоспермом привело к увеличению всхожести по сравнению с контролем через 3 года хранения. Содержание антиоксидантов после хранения в целом увеличилось под действием ИД, а

уровень ПОЛ – снизился. Более высокое содержание АО выявлено в зерновках со стекловидным эндоспермом после обработки ИД и хранения. Перевод биополимеров в стеклообразное состояние с помощью ИД способствует сохранению жизнеспособности зерна в процессе хранения.

Список литературы

1. Верхотуров В.В. Физиолого - биохимические процессы в зерновках ячменя и пшеницы при их хранении, прорастании и переработке: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Москва, 2008. 44 с.
2. Веселова Т.В. Изменение состояния семян при их хранении, проращивании и под действием внешних факторов (ионизирующего излучения в малых дозах и других слабых воздействий), определяемое методом замедленной люминесценции: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Москва, 2008. 48 с.
3. Влияние обработки импульсным давлением на динамику содержания протеина в зерновках пшеницы при хранении / В.А. Павлова, Е.Э. Нефедьева, В.И. Лысак, С.Л. Белопухов, В.В. Верхотуров // Хлебопродукты. 2013. № 12. С. 55-57.
4. Кругликов, Н. А., Быструшкин А. Г., Беляев А. Ю. Влияние экстремальных физических факторов на биологические свойства семян солодки уральской // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2022. Т. 86. № 2. С. 228-232. <https://doi.org/10.31857/S0367676522020144>
5. Куковский С. А. Совершенствование технологии возделывания яровой мягкой пшеницы в условиях Саратовского Левобережья: диссертация ... кандидата сельскохозяйственных наук: 06.01.01. Саратов, 2016
6. Мамедова С.А., Ахундов А.Ф. Сортовые различия герогенеза семян лука // Роль физиологии и биохимии в интродукции и селекции овощных, плодово-ягодных и лекарственных растений: материалы III Международной конференции. М.: Изд-во РУДН, 2017. С. 298-300.
7. Мамедова С.А., Бабаева М.А. Оценка стрессоустойчивости генотипов синтетической пшеницы японского происхождения // Успехи современного естествознания. 2022. № 2. С. 14-19. <https://doi.org/10.17513/use.37772>
8. Нефедьева Е.Э. Физиолого-биохимические процессы и морфогенез у растений после действия импульсного давления на семена / диссертация ... доктора биологических наук: 03.01.05 Москва 2011. URL: <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01005086764>
9. Патент 2083073 Российская Федерация, МПК А01С 1/00, А01G 7/04 Способ предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур / Атрощенко Э.С. и др. 10.07.1997.

10. Предпосевная обработка семян подсолнечника, сои и кукурузы низкочастотным электромагнитным излучением / Левина Н.С., Тертышная Ю.В., Бидей И.А., Елизарова О.В. // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018 Т. 12. №4. С. 22-28. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-4-22-28>
11. Рогожин В. В. Практикум по биохимии: учебное пособие. Санкт-Петербург : Лань, 2022. 544 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/211406>
12. Содержание фитогормонов, рост и развитие растений гречихи под действием импульсного давления / Нефедьева Е.Э., Мазей Н.Г., Мирошниченко А.А., Хрянин В.Н. // Сельскохозяйственная биология. 2003. Т. 38. № 1. С. 54-61. URL: <http://www.agrobiology.ru/1-2003.html>
13. Федотов Г.Н., Шалаев В.С., Багырев Ю.П. Микроорганизмы почв и стимуляторы прорастания семян // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2019. Т. 11. № 1. С. 47-64. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2019-11-1-47-64>
14. Швачко Н.А., Хлесткина Е.К. Молекулярно-генетические основы устойчивости семян к окислительному стрессу при хранении // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. Т. 24. № 5. С. 451-458. <https://doi.org/10.18699/VJ20.47-0>
15. Bernal-Lugo I., Leopold A.C. Changes in Soluble Carbohydrates during Seed Storage // Plant Physiol. 1992. V. 98. P. 1207-1210. <https://doi.org/10.1104/pp.98.3.1207>.
16. Dependence of germination of wheat grains after the treatment by impulse pressure and long-term storage on the vitreousness of endosperm / Nefedieva E.E., Khramova Ya.I., Khramova V.N., Gorlov I.F., Lysak V.I., Slozhenkina M.I. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk, Russian Federation, 2021. P. 32078. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/3/032078>
17. Hendry G.A.F. Oxygen, free radical processes and seed longevity // Seed Sci. Res. 1993. V. 3. P. 141-153. <https://doi.org/10.1017/S0960258500001720>
18. Lv Y., Zhang S., Wang J., Hu Y. Quantitative proteomic analysis of wheat seeds during artificial ageing and priming using the isobaric tandem mass tag labeling // PLoS ONE. 2016. Т. 11. № 9. С. e0162851. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162851>
19. Mihara M, Uchiyama M. Determination of malonaldehyde precursor in tissues by thiobarbituric acid test. Anal Biochem. 1978. V. 86. P. 271-278. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(78\)90342-1](https://doi.org/10.1016/0003-2697(78)90342-1)
20. Navjot Singh Brar, Prashant Kaushik, Bagrawat Singh Dudi Assessment of Natural Ageing Related Physio-Biochemical Changes in Onion Seed. Agriculture. 2019. Vol. 9. № 163. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE9080163>

21. Shaaban M. The effect of ageing on antioxidant and biochemical changes in wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds // Iranian Journal of Plant Physiology. 2016. T. 6. № 4. P. 1805-1815. <https://doi.org/10.22034/IJPP.2016.532651>
22. Veselovsky V.A., Veselova T.V. Lipid peroxidation, carbohydrate hydrolysis, and Amadori-Maillard reaction at early stages of dry seed aging // Russian Journal of Plant Physiology. 2012. Vol. 59. № 6. P. 811-817. <https://doi.org/10.1134/S1021443712030181>
23. Wheat seed ageing viewed through the cellular redox environment and changes in pH / Nagel M., Richter J., Börner A., Seal C.E., Colville L., Pritchard H.W., Rodenstein A., Un S., Kranner I. // Free Radical Research. 2019. V. 53. № 6. P. 641-654. <https://doi.org/10.1080/10715762.2019.1620226>

References

1. Verkhoturor V.V. *Fiziologo - biokhimicheskie protsessy v zernovkakh yach-menya i pshenitsy pri ikh khraneni, prorastanii i pererabotke* [Physiological and biochemical processes in barley and wheat grains during their storage, germination and processing]: Abstract of Dr dissertation. Moscow, 2008, 44 p.
2. Veselova T.V. *Izmenenie sostoyaniya semyan pri ikh khraneni, prorashchivani i pod deystviem vneshnikh faktorov (ioniziruyushchego izlucheniya v malykh dozakh i drugikh slabykh vozdeystviy), opredelyaemoe metodom zamedlennoy lyuminestsentsii* [Changes in the state of seeds during storage, germination and under the influence of external factors (ionizing radiation in small doses and other weak influences), determined by the method of delayed luminescence]. Abstract of Dr dissertation. Moscow, 2008, 48 p.
3. Pavlova V.A., Nefed'eva E.E., Lysak V.I., Belopukhov S.L., Verkhoturor V.V. Vliyanie obrabotki impul'snym davleniem na dinamiku sodержaniya proteina v zernovkakh pshenitsy pri khraneni [The effect of pulse pressure treatment on the dynamics of protein content in wheat grains during storage]. *Khleboprodukt'y*, 2013, no. 12, pp. 55-57.
4. Kruglikov N.A., Bystrushkin A.G., Belyaev A.Yu. Vliyanie ekstre-mal'nykh fizicheskikh faktorov na biologicheskie svoystva semyan solodki ural'skoy [The influence of extreme physical factors on the biological properties of licorice Ural seeds]. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya fizicheskaya*, 2022, vol. 86, no. 2, pp. 228-232. <https://doi.org/10.31857/S0367676522020144>
5. Kukovskiy S. A. *Sovershenstvovanie tekhnologii vozdeleyvaniya yarovoy myagkoy pshenitsy v usloviyakh Saratovskogo Levoberezh'ya* [Improving the technology of cultivation of spring soft wheat in the conditions of the Saratov Left Bank]: dissertation ... candidate of agricultural sciences: 06.01.01. Saratov, 2016.

6. Mamedova S.A., Akhundov A.F. *Rol' fiziologii i biokhimii v introduksii i selektsii ovoshchnykh, plodovo-yagodnykh i lekarstvennykh rasteniy* [Varietal differences in the gerogenesis of onion seeds]: materials of III International Conference. Moscow: RUDN, 2017, pp. 298-300.
7. Mamedova S.A., Babaeva M.A. Otsenka stressoustoychivosti genotipov sinteticheskoy pshenitsy yaponskogo proiskhozhdeniya [Assessment of stress resistance of genotypes of synthetic wheat of Japanese origin]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2022, no. 2, pp. 14-19. <https://doi.org/10.17513/use.37772>
8. Nefed'eva E.E. Deystvie impul'snogo davleniya na rost, razvitie i produktivnost' rasteniy grechikhi [The effect of impulse pressure on the growth, development and productivity of buckwheat plants]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region*, 2003, no. 6 (9), pp. 193-201.
9. Atroshchenko E.S. et al. Patent 2083073 Russian federation, IPC A01C 1/00, A01G 7/04 *Sposob predposevnoy obrabotki semyan sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Method of pre-sowing treatment of seeds of agricultural crops] 10.07.1997. URL: <https://www1.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=6b45cdb89c442cd40dc5614f01a53c13>
10. Levina N.S., Tertyshnaya Yu.V., Bidey I.A., Elizarova O.V. Predposevnaya obrabotka semyan podsolnechnika, soi i kukuruzy niz-kochastotnym elektromagnitnym izlucheniem [Pre-sowing treatment of sunflower seeds, soybeans and corn with low-frequency electromagnetic radiation]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*, 2018, V. 12, no. 4. P. 22-28. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-4-22-28
11. Rogozhin V. V. *Praktikum po biokhimii* [Workshop on biochemistry] Saint-Petersburg: Lan', 2022, 544 p. URL: <https://e.lanbook.com/book/21140>
12. Nefed'eva E.E., Mazey N.G., Mirosnichenko A.A., Khryanin V.N. Soderzhanie fitogormonov, rost i razvitie rasteniy grechikhi pod deystviem impul'snogo davleniya [The content of phytohormones, growth and development of buckwheat plants under the action of pulsed pressure]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2003, vol. 38, no. 1, P. 54-61. URL: <http://www.agrobiology.ru/1-2003.html>
13. Fedotov G.N., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P. Mikroorganizmy pochvy i stimulyatory prorasaniya semyan [Soil microorganisms and seed germination stimulators]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2019, vol. 11, no. 1, pp. 47-64. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2019-11-1-47-64>
14. Shvachko N.A., Khlestkina E.K. Molekulyarno-geneticheskie osnovy ustoychivosti semyan k oksislitel'nomu stressu pri khranении [Molecular genetic foundations of seed resistance to oxidative stress during storage]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*, 2020, vol. 24, no. 5, pp. 451-458. <https://doi.org/10.18699/VJ20.47-o>

15. Bernal-Lugo I., Leopold A.C. Changes in Soluble Carbohydrates during Seed Storage. *Plant Physiol.*, 1992, vol. 98, pp. 1207-1210. <https://doi.org/10.1104/pp.98.3.1207>
16. Nefedieva E.E., Khramova Ya.I., Khramova V.N., Gorlov I.F., Lysak V.I., Slozhenkina M.I. Dependence of germination of wheat grains after the treatment by impulse pressure and long-term storage on the vitreousness of endosperm. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Krasnoyarsk, Russian Federation, 2021, 32078. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/3/032078>
17. Hendry G.A.F. Oxygen, free radical processes and seed longevity. *Seed Sci. Res.*, 1993, vol. 3, pp. 141– 153. <https://doi.org/10.1017/S0960258500001720>
18. Lv Y., Zhang S., Wang J., Hu Y. Quantitative proteomic analysis of wheat seeds during artificial ageing and priming using the isobaric tandem mass tag labeling. *PLoS ONE*, 2016, vol. 11, no. 9, e0162851. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162851>
19. Mihara M, Uchiyama M. Determination of malonaldehyde precursor in tissues by thiobarbituric acid test. *Anal Biochem.*, 1978, vol. 86, pp. 271-278. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(78\)90342-1](https://doi.org/10.1016/0003-2697(78)90342-1)
20. Navjot Singh Brar, Prashant Kaushik, Bagrawat Singh Dudi Assessment of Natural Ageing Related Physio-Biochemical Changes in Onion Seed. *Agriculture*, 2019, vol. 9, no. 163. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE9080163>
21. Shaaban M. The effect of ageing on antioxidant and biochemical changes in wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 2016, vol. 6, no. 4, pp. 1805-1815. <https://doi.org/10.22034/IJPP.2016.532651>
22. Veselovsky V.A., Veselova T.V. Lipid peroxidation, carbohydrate hydrolysis, and Amadori-Maillard reaction at early stages of dry seed aging. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2012, vol. 59, no. 6, pp. 811-817. <https://doi.org/10.1134/S1021443712030181>
23. Wheat seed ageing viewed through the cellular redox environment and changes in pH. Nagel M., Richter J., Börner A., Seal C.E., Colville L., Pritchard H.W., Rodenstein A., Un S., Kranner I. *Free Radical Research*, 2019, vol. 53, no. 6, pp. 641-654. <https://doi.org/10.1080/10715762.2019.1620226>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Храмова Ярославна Игоревна, аспирант кафедры «Промышленная экология и безопасность жизнедеятельности»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет»

пр-т Ленина, 28, г. Волгоград, 400005, Российская Федерация

yaroslavnacosmos@icloud.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2194-461X>

Scopus Author ID: 57222573097

Нефедьева Елена Эдуардовна, д-р биол. наук, профессор кафедры «Промышленная экология и безопасность жизнедеятельности»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет»

пр-т Ленина, 28, г. Волгоград, 400005, Российская Федерация

nefedieva@rambler.ru

SPIN-code: 9879-6283

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4782-3835>

ResearcherID: E-9959-2014

Scopus Author ID: 8234407800

Храмова Валентина Николаевна, д-р биол. наук, профессор, профессор кафедры «Технология пищевых производств», декан факультета технологии пищевых производств

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет»

пр-т Ленина, 28, г. Волгоград, 400005, Российская Федерация

hramova_vn@mail.ru

SPIN-code: 5483-6255

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7630-7672>

ResearcherID: ID 8038-2015

Scopus Author ID: 57190736311

DATA ABOUT THE AUTHORS

Yaroslavna I. Khramova, Postgraduate Student of the Department “Industrial Ecology and Life Safety”

Volgograd State Technical University
28, Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation
yaroslavnacosmos@icloud.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2194-461X>
Scopus Author ID: 57222573097

Elena E. Nefed'eva, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department “Industrial Ecology and Life Safety”
Volgograd State Technical University
28, Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation
nefedieva@rambler.ru
SPIN-code: 9879-6283
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4782-3835>
ResearcherID: E-9959-2014
Scopus Author ID: 8234407800

Valentina N. Khramova, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department “Food Production Technology”, Dean of the Faculty of Food Production Technology
Volgograd State Technical University
28, Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation
hramova_vn@mail.ru
SPIN-code: 5483-6255
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7630-7672>
ResearcherID: ID 8038-2015
Scopus Author ID: 57190736311

Поступила 17.08.2022

После рецензирования 29.08.2022

Принята 30.09.2022

Received 17.08.2022

Revised 29.08.2022

Accepted 30.09.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-77-99

УДК 582.232:275.574.5.633



Научная статья | Систематика растений

ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АЛЬГОФЛОРЫ АКДАРЬИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В СРЕДНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ ЗАРАФШАН

Х.А. Алимжанова, М.С. Ражабова

В результате флора-систематических исследований альгофлоры Акдарьинского водохранилища отмечены 71 вид и разновидности (63 вида, 16 вариаций, 1 форма), которые относятся к 4 отделам, 10 порядкам, 14 семействам, 24 родам. По видовому составу доминируют диатомовые водоросли (Bacillariophyta), состоящие из 56 видов разновидностей, за ними следует отдел синезеленых (Cyanophyta) – 9 (8 видов, 1 форма), желтозеленых (Xanthophyta) – 4, зеленых (Chlorophyta) – 2 вида водорослей. По биологическому разнообразию преобладают классы Hormogoniophyceae, Pennatae и Heterotrichophyceae, представляющие из 65 видов и разновидностей (91,54%), состоящие из 6 семейств, обобщающихся 62 разновидностями (87,95%), 7 родами, которые обобщаются 53 (74,64%) видами и разновидностями. Флора-систематический анализ показывает, что видовой состав альгофлоры Акдарьинского водохранилища имеет своеобразную особенность, где полученные данные в дальнейшем могут использоваться в изучении экосистемы Акдарьинского водохранилища, в качестве биоразнообразия первичных продуцентов.

Цель работы. Водохранилище играет большую роль в формировании экосистем определенных географических местностей. Всестороннее изучение биологического разнообразия в условиях водохранилища дает возможность проведения исследования и мониторинга экологических, биологических изменений факторов среды. Для этого проводится предварительная инвентаризация состояния водной среды и организмов, обитающих в ней. В связи с этим целью наших исследований является таксономический анализ альгофлоры Акдарьинского водохранилища.

Материалы и методы. В 2014-2022 годах из Акдарьинского водохранилища собрано и обработано более 150 альгологических проб по общепринятым методикам альгологии и гидробиологии [5, 6]. В лабораторных условиях из

альгологических проб приготовили препараты, выявлены видовые составы водорослей по определителями установлена частота встречаемости в одном поле зрения объектива. При проведении экспериментов использовали световой микроскоп типа Carl Zeiss, микрометр окуляр +7, красители. С помощью определителя [4-11, 16] и монографии [12, 17, 18] выявлен видовой состав водорослей, систематика и их таксономия. Химический состав воды анализирован данными УзГМНИИ (Узбекский Гидрометеорологический научно-исследовательский институт).

Результаты. По проведенному таксономическому анализу в альгологических пробах из водохранилища Акдарья, выявлены 71 вид и разновидностей водорослей (63 вид, 16 вариаций и 2 формы). Они относятся к 4 отделам (Cyanophyta, Bacillariophyta, Xanthophyta, Chlorophyta), 8 классам, 10 порядкам, 14 семействам и 23 родам, которые приведены в таблице 1,2.

Заключение. В Акдарьинском водохранилище в среднем течении реки Зарафшан отмечено большое количество взвешенных веществ и с относительно высокой минерализацией. Этот фактор благоприятно влияет на развитие, формирование и интенсивное распространение водорослей отдела Bacillariophyta (56), Cyanophyta (9), Xanthophyta (4), Chlorophyta (2) в экосистеме Акдарьинского водохранилища. Полученные данные могут быть использованы в дальнейшем как биоразнообразие первичного продуцента экосистемы данного водохранилища.

Ключевые слова: альгофлора; таксономия; отделы; классы; семейство; роды; виды и разновидности; видовое разнообразие; ведущие таксоны

Для цитирования. Алимжанова Х.А., Ражабова М.С. Таксономический анализ альгофлоры Акдарьинского водохранилища в среднем течении реки Зарафшан. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №1. С. 77-99. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-77-99

Original article | Plant Systematics

TAXONOMIC ANALYSIS OF THE ALGOFLORA OF THE AKDARYA RESERVOIR IN THE MIDDLE REACHES OF THE ZARAFSHAN RIVER

Kh.A. Alimjanova, M.S. Rajabova

As a result of flora-systematic studies of the Akdarya reservoir, 71 species and varieties (63 species, 16 variations, 1 form) were identified, which belong to 4 de-

partments, 10 orders, 14 families, 24 genera. The species composition is dominated by diatoms (Bacillariophyta), consisting of 56 species of varieties, followed by detached green (Cyanophyta) - 9 (8 species, 1 form), yellowish (Xanthophyta) - 4, green (Chlorophyta) - 2 species of algae. Hormogoniophyceae, Pennatae and Heterotrychophyceae are the most diverse classes, representing 65 species and varieties (91.54%), consisting of 6 families, generalized by 62 different species (87.95%), and 7 genera, generalized by 53 (74, 64%) species and varieties. The flora-systematic analysis shows that the species composition of the Akdarya Reservoir's algophore has a peculiar feature, where the data obtained in the Far East can be used in the study of the ecosystem of the Akdarya Reservoir, as biodiversity of primary producers.

Background. The reservoir plays a major role in the formation of ecosystems of certain geographical areas. The comprehensive study of biodiversity in a reservoir makes it possible to study and monitor environmental and biological changes in environmental factors. For this purpose, a preliminary inventory of the state of the aquatic environment and its organisms is carried out. In this regard, the objective of our research is the taxonomic analysis of the Akdarya Reservoir's algophore.

Materials and Methods. In 2014-2022 from Akdarya reservoir-More than 150 alhologic samples have been collected and processed according to the generally accepted methods of alhology and hydrobiology [5, 6]. In the laboratory, preparations were prepared from algological samples, species compositions of algae were identified by determinants and frequency of occurrence in one lens field of view was determined. The experiments were carried out using a Carl Zeiss type light microscope, eyepiece +7 micrometer, and dyes. Species composition of algae, systematics and their taxonomy have been identified with the help of the determinant [4-11, 16] and the monograph [12, 17, 18]. The chemical composition of water is analyzed by the data of UzGMNII (Uzbek Hydrometeorological Research Institute).

Results. Based on taxonomic analysis, 71 species and varieties of algae (63 species, 16 variations and 2 shapes) were identified in alhologic samples from the Akdarya reservoir. They belong to 4 divisions (Cyanophyta, Bacillariophyta, Xanthophyta, Chlorophyta), 8 classes, 10 orders, 14 families and 23 genera, which are given in table 1.2.

Conclusion. The Akdarya reservoir in the middle of the Zarafshan River has a large amount of suspended substances and relatively high mineralization. This factor favourably influences the development, formation and intensive distribution of the algae division of Bacillariophyta (56), Cyanophyta (9), Xanthophyta (4), Chlorophyta (2) in the ecosystem of the Akdarya reservoir. The obtained data can be used in the distant biodiversity of the primary producer of the ecosystem of the reservoir.

Keywords: *algoflora; taxonomy; divisions; classes; family; genera; species and varieties; species diversity; leading taxa*

***For citation.** Alimjanova Kh.A., Rajabova M.S. Taxonomic analysis of the *Algothlora Akdarya* reservoir in the middle of the Zarafshan River. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 77-99. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-77-99*

Введение

Водохранилище играет большую роль в формировании экосистем определенных географических местностей. Всестороннее изучение биологического разнообразия в условиях водохранилища дает возможность проведения исследования и мониторинга экологических, биологических изменений факторов среды. Для этого проводится предварительная инвентаризация состояния водной среды и организмов, обитающих в ней. В связи с этим, в первую очередь нужно изучить альгофлору Акдарьинского водохранилища, которая является первичной продуктивностью экосистемы данного водохранилища.

По научно-литературным данным было выяснено, что более детально были изучены альгофлора крупных водохранилищ, которые расположены в среднем течение реки Зарафшан, такие как Каттакурганский [19, 20] и Тудакулский [12]; более мелкое водохранилище, но большую роль в сельском хозяйственном значении в этой местности играет водохранилище Акдарья, в которой до сих пор (до 2014 года) не были изучены флористические и таксономические особенности альгофлоры. В этой местности ещё не проведены изучения флористических и таксономических свойств водорослей и их воздействия на формирование экосистемы [12, 17, 18], поэтому **целью** настоящей статьи было проведение таксономического анализа альгофлоры Акдарьинского водохранилища.

Задачами являются:

- альгологический сбор материалов в данном водохранилище;
- изучение видового состава водорослей, составление картотеки и систематических списков альгофлоры Акдарьинского водохранилища;
- таксономический анализ альгофлоры в данном водохранилище и их рекомендации в дальнейшем использовании.

Об изученности альгофлоры Акдарьинского водохранилища

Для осуществления цели и задач исследований данной темы, проведены исследования в течение 2014-2022 гг. в лаборатории микологии и альгологии института Ботаники АН РУз по гостбюджетному проекту «Уникальные

объекты». Собраны свыше 150 альгологических проб, которые хранятся в «коллекции флоры водорослей водоемов Узбекистана» в данном институте. Для достижения цели исследования проведено совместное исследование с институтами Самселхоз института, Самаркандского государственного университета, Самаграт института, являющимися филиалами Ташкентского государственного аграрного университета и Национального университета Узбекистана. В течение этих вышеупомянутых годов полученные результаты были опубликованы совместно [2, 3]. Однако, эти совместные работы некоторыми участниками были опубликованы отдельно [1, 13-15]. В данной статье нами обобщены все полученные результаты и частично опубликованы данные по альгофлоре Акдарьинского водохранилища.

Объект и методы исследования

Акдарьинское водохранилище расположено на уровне 39°995'N (северной широты) и 066°382'E (восточной долготы), на высоте 485 м над уровнем моря, на реке Акдарья Самаркандского вилоята Иштиханского района, эксплуатируется с 1989 года. Она питается водой из реки Акдарья. Объем воды - 131,8 млн м³. Максимальная высота плотины 20 м, водопроницаемость составляет 70 м³/с, рН колеблется от 6,5 до 7,0, а общая минерализация составляет - 500-612 мг/л.

В 2014-2022 годах из Акдарьинского водохранилища собрано и обработано более 150 альгологических проб по общепринятым методикам альгологии и гидробиологии [4, 5], которые хранятся в коллекции “Флоры водорослей водоемов Узбекистана” института ботаники АН РУз. В лабораторных условиях из альгологических проб приготовили препараты, определен видовой состав водорослей, установлены частота встречаемости в одном поле зрения объектива. При проведении исследования использовали световой микроскоп типа Carl Zeiss, микрометр окуляр +7, красители. С помощью определителя [4-11, 16] и монографии [12, 19-20] определен видовой состав водорослей, систематика и их таксономия. Химический состав воды анализируется по данным УзГМНИИ (Узбекский Гидрометеорологический научно-исследовательский институт).

Ниже приведен систематический список альгофлоры Акдарьинского водохранилища водоемов среднего течения реки Зарафшан (2014-2022 гг.). В нем указаны таксоны и название видов водорослей, их отношение в солености воды, сапробность - S, станции обитаемые, жизненные формы и частота встречаемости водорослей по сезонам года, которые изображены в 9-бальной системе (табл.1).

Таблица 1.

**Систематический список альгофлоры Акдарьинского водохранилища
водоемов среднего течения реки Зарафшан (2014-2022 гг.)**

| п/п № | Таксоны и название видов водорослей, их отношение в солёности воды | Сапробность, S | Станции обитаемые | Жизненные формы и частота встречаемости водорослей по сезонам года (балл) | | | |
|-------|---|----------------|-------------------|---|----------|----------|----------|
| | | | | весна | лето | осень | зима |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | Cyanophyta | | | | | | |
| | <i>Класс Chroococcophyceae</i> <i>Порядок Chroococcales</i> <i>Подпор. Planimetreae Elenk</i> <i>Сем. Merismopediaceae Elenk.</i> <i>Под. Merismopedia (Meyen.) Elenk.</i> | | | | | | |
| 1 | <i>Вид. Merismopedia elegans A.Br.</i> прес - солон+ | | 2 | | | 7б | |
| | <i>Класс Hormogoniophyceae</i> <i>Порядок Nostocales (Geitl.) Elenk.</i> <i>Подпор. Symmetreae Elenk.</i> <i>Сем. Nostocaceae Kuetz. emend. (Kirchner) emend Elenk.</i> <i>Под Nostoc Adanson</i> | | | | | | |
| 2 | <i>Вид. Nostoc zetterstedtii Aresch.</i> Пресн.+ | - | 2 | 9б | | | |
| | <i>Сем. Anabaenaceae Elenk.</i> <i>Под Anabaena Bory</i> | | | | | | |
| 3 | <i>Вид. Anabaena constricta (Szaf.) Geitl.</i> Пресн.- | | 2 | 5б | | | |
| | <i>Пор. Oscillatoriales Elenk.</i> <i>Сем. Oscillatoriaceae (Kirchn.) Elenk.</i> <i>Под. Oscillatoria Vauch.</i> | | | | | | |
| 4 | <i>Вид. Oscillatoria quadripunctulata Briühl. et Biswas.</i> Пресн.-солон. | - | 2 | 5п | | 7п | |
| 5 | <i>Oscillatoria limosa Ag. f. disperso – granulata (Schkorb.) Elenk.</i> Прес. – солон. - кат. | - | 2 | 5.9п | | 7.9п | |
| 6 | <i>Oscillatoria rupicola Hansg.</i> Пресн. – солон- | - | 2 | 3 б | 3б | 5 б | 1б |
| | <i>Под. Spirulina Turp.</i> | | | | | | |
| 7 | <i>Вид. Spirulina jenniferi (Hass.) Kuetz. f. jenniferi</i> Прес. – солон. | a | 2 | 5.9п | | 7.9п | |
| 8 | <i>Spirulina gomontiana (Setchell) Geitl.</i> Прес. – солон.- | - | 2 | 3п | | 9п | |
| | <i>Под. Phormidium Kuetz.</i> | | | | | | |
| 9 | <i>Вид. Phormidium tenue (Menegh.) Gom.</i> Прес. – солон – кат. | a | 1 | | | 1 б | |
| | Всего: 9 | 2 | | 7 | 1 | 7 | 1 |

| II | Bacillariophyta (Diatomeae) | | | | | | |
|----|--|---|----|------|-----|-------|--|
| | <i>Класс Centricae</i> <i>Порядок Discoidales</i> <i>Семейство Coscinodiscaceae Kuetz.</i> <i>Род Cyclotella Kuetz.</i> | | | | | | |
| 10 | <i>Вид Cyclotella ocellata Pant. Пресн. – кам.</i> | - | 5 | 1 n | | | |
| 11 | <i>Cyclotella comta (Ehr.) Kuetz. Пресн. – кам.</i> | | 2 | | | 1 б | |
| | <i>Класс Pennatae</i> <i>Порядок Araphinales Schütt</i> <i>Семейство Fragilariaceae (Kuetz.) D.T.</i> <i>Род Diatoma D.C.</i> | | | | | | |
| 12 | <i>Вид Diatoma hiemale (Lyngb.) Heib. Пресн. + кам.</i> | | 1 | 1 б | | | |
| | <i>Род Fragilaria Lingb.</i> | | | | | | |
| 13 | <i>Вид Fragilaria capucina Desm. Пресн. + кам.</i> | b | 1 | 1 б | | | |
| 14 | <i>Fragilaria intermedia Grun. Пресн. + кам.</i> | - | 1 | | 1 n | 1 n | |
| 15 | <i>Fragilaria virescens Ralfs. Пресн. – солон. + кам.</i> | | 1 | | | 1 б о | |
| | <i>Fragilaria virescens var. capitata Qstr.</i> | | 2 | | | 1 б | |
| 16 | <i>Fragilaria virescens var. exigua Grun. Пресн. – солон. кам.</i> | - | 2 | | | 1 б | |
| 17 | <i>Fragilaria bicapitata A.Mayer Пресн. +</i> | | 1 | | | 1 о | |
| | <i>Род Synedra Ehr.</i> | | | | | | |
| 18 | <i>Вид Synedra ulna var. aequalis (Kuetz.) Hust. Пресн. + кам.</i> | - | 1 | 1 б | | | |
| 19 | <i>Synedra ulna (Nitzsch.) Ehr. Пресн. + х-а кам.</i> | | 1 | 5 б | 1 n | 1 on | |
| 20 | <i>Synedra pulchella (Ralfs) Kuetz. Пресн. – солон. + кам.</i> | a | 2 | 1 n | 3 б | | |
| 21 | <i>Synedra ulna var. amphirhynchus (Ehr.) Grun. + Пресн. кам.</i> | - | 21 | 1 б | 1 n | | |
| 22 | <i>Synedra tabulata (Ag.) Kuetz. Солон. -</i> | | 21 | | 3 б | 1 о | |
| | <i>Пор. Raphinales</i> <i>Подпор. Monoraphineae</i> <i>Сем. Achnanthaceae (Kuetz.) Grun.</i> <i>Род Achnanthes Bory</i> | | | | | | |
| 23 | <i>Вид Achnanthes conspicua A.Meyer. + var. brevistriata Hust. Пресн.</i> | - | 1 | | 1 n | | |
| | <i>Подпор. Diraphineae</i> <i>Сем. Naviculaceae West.</i> <i>Род Navicula Bory</i> | | | | | | |
| 24 | <i>Вид Navicula cryptocephala var. veneta (Kuetz.). Grun. Пресно – солон.- кам.</i> | | 1 | 5.9n | | | |
| 25 | <i>Navicula subtilissima var. baicalensis Skv. Пресн.-</i> | - | 1 | 1 б | | | |
| 26 | <i>Navicula perpusilla Grun. Пресн. -</i> | - | 2 | | 1 n | | |
| | <i>Род Neidium Pfitz.</i> | | | | | | |

| | | | | | | | |
|----|---|---|----|---------|--------------|------|--------|
| 27 | <i>Вид Neidium distincte – punctatum Hust.</i> Пресн. - | - | 2 | 1 б | | | |
| | <i>Под Caloneis Cl.</i> | | | | | | |
| 28 | <i>Вид Caloneis alpestris (Grun.) Cl.</i> Пресн. - | | 2 | | | | 3.5б |
| | <i>Под Gyrosigma Hass.</i> | | | | | | |
| 29 | <i>Вид Gyrosigma distortum (W.Sm.) Cl.</i> Солон.- | - | 1 | | | | 5 о |
| 30 | <i>Gyrosigma acuminatum (Kuetz.) Rabenh.</i> Пресно– солон. + кат. | | 2 | | | | 3 б |
| | <i>Под Amphora Ehr.</i> | | | | | | |
| 31 | <i>Вид Amphora commutata Grun.</i> Солон. + кат | - | 1 | 1.3n | | | |
| 32 | <i>Amphora lineolata Ehr.</i> Солон. - | - | 1 | n б 1.3 | | | |
| 33 | <i>Amphora ovalis var. libyca Kuetz.</i> Пресн. + | - | 2 | | | 1б1n | |
| 34 | <i>Amphora ovalis var. constricta Skv.</i> Пресн. + | - | 2 | | | 1n | |
| 35 | <i>Amphora ovalis var. gracilis Ehr.</i> Пресн. + | o | 2 | | | 3б | |
| 36 | <i>Amphora ovalis Kuetz. var.pediculus Kuetz.</i> Пресн. + кат | - | 12 | 1 | | 1б | 5б |
| 37 | <i>Amphora costulata Skv.</i> Пресн. + | - | 2 | | | | 5б |
| | <i>Под Cymbella Ag.</i> | | | | | | |
| 38 | <i>Вид Cymbella parva (W.Sm.) Cl.</i> Пресн. + кат | - | 1 | 1.3б | | | |
| 39 | <i>Cymbella lacustris (Ag.) Cl. f.baicalensis Skv.</i> Солон. – прес. + | - | 1 | 5 б | | | |
| 40 | <i>Cymbella tartuensis Mölder</i> Пресн. - | - | 1 | 1 б | | | |
| 41 | <i>Cymbella helvetica Kuetz.</i> Прес. + кат | o | 1 | 1 б | | | |
| 42 | <i>Cymbella reinhardtii Grun.</i> Пресн. - | - | 2 | | | 1 б | |
| 43 | <i>Cymbella aequalis W.Sm.</i> Пресн. + кат. | - | 1 | | | | 1 о |
| 44 | <i>Cymbella lata var.baicalensis Skv.</i> Пресн. –солон. кат. | - | 2 | | | | 7 б |
| | <i>Подпор Aulonographineae</i> | | | | | | |
| | <i>Сем. Nitzschiaceae</i> | | | | | | |
| | <i>Под Nitzschia Hass.</i> | | | | | | |
| 45 | <i>Вид Nitzschia vermicularis (Kuetz.) Grun.-</i> Прес.– солон. кат. | | 1 | 1.3 б | 1 n | | 1 б |
| 46 | <i>Nitzschia distans Greg.</i> Солон. Морс. + | - | 12 | 1.3б1 n | 3 n | | |
| 47 | <i>Nitzschia filiformis (W.Sm.) Hust.</i> Солон. – кат. | - | 2 | 1 n | | | |
| 48 | <i>Nitzschia regula Hust.</i> Пресн.+ кат. | - | 21 | 1 n | | | 11.5 о |
| 49 | <i>Nitzschia sigmaidea (Ehr.) W.Sm. +Пресно –</i> солон. кат. | | 21 | 1 n | 1 n 3б1n 1 б | | |
| 50 | <i>Nitzschia frustulum var.asiatica Hust. - Пресно –</i> солон. кат. | - | 2 | | 1 n | | |
| 51 | <i>Nitzschia frustulum var.subsalina Hust. - Пресно –</i> солон. кат. | - | 2 | | 1 n | | |
| 52 | <i>Nitzschia distans var. tumescens Grun.- Солон.</i> Морс. | - | 2 | | 3 б | | |

| | | | | | | | |
|----|--|---|----|---------|-----|------|-----|
| 53 | <i>Nitzschia angularis</i> W.Sm. Солон. Морс. - | - | 2 | | 3 б | | |
| 54 | <i>Nitzschia acuta</i> Hantzsch. Пресн. - | - | 2 | | 3 б | | |
| 55 | <i>Nitzschia obtusa</i> W.Sm. Солон. -кат. | - | 2 | | 3 б | | |
| 56 | <i>Nitzschia sublinearis</i> Hust. Пресн. + кат. | - | 1 | | | 57 о | |
| 57 | <i>Nitzschia subvitrea</i> Hust. Пресн. - кат. | - | 1 | | | 1 о | |
| 58 | <i>Nitzschia acicularis</i> W.Sm. Пресн. + кат. | | 1 | | | 1 о | |
| | Сем. <i>Surirellaceae</i> (Kuetz.) Grun | | | | | | |
| | Род. <i>Cumatopleura</i> W. Sm. | | | | | | |
| 59 | <i>Cumatopleura elliptica</i> var. <i>constricta</i> Grun. – Пресн. – солон. – кат. | - | 2 | | | 3 б | |
| | Род <i>Surirella</i> Turp. | | | | | | |
| 64 | <i>S. capronii</i> Breb. Пресн – солон. + кат. | | 2 | | | 1 б | |
| 60 | <i>S. didyma</i> Kuetz. Солон. + | - | 1 | 1 б | | | |
| 61 | <i>Surirella linearis</i> W.Sm. Пресн. + кат. | | 12 | 1 б 1 n | | 1 n | |
| 63 | <i>Surirella linearis</i> W.Sm. var. <i>constricta</i> (Ehr.) Grun. Пресн. - кат. | - | 1 | | | 3 n | |
| 62 | <i>Surirella ovalis</i> Breb. Солон. - кат. | - | 1 | | 1 n | | |
| 65 | <i>Surirella tenera</i> Greg. Пресн. + кат. | - | 2 | | | 3 б | |
| | Всего: 56 | 4 | | 24 | 22 | 26 | - |
| | Отдел Xanthophyta | | | | | | |
| | Класс <i>Heterococcyphyceae</i> | | | | | | |
| | Порядок <i>Heterococcales</i> | | | | | | |
| | Сем. <i>Chlorotheciaceae</i> | | | | | | |
| | Род <i>Ophiocytium</i> Naeg. | | | | | | |
| 66 | Вид <i>Ophiocytium gracillimum</i> Borzi em. Pasch. Прес. - | - | 2 | | 3 n | | |
| | Класс <i>Heterotrychphyceae</i> | | | | | | |
| | Порядок <i>Tribonematales</i> | | | | | | |
| | Сем. <i>Tribonemataceae</i> Pasch. | | | | | | |
| | Род <i>Tribonema</i> Derb. et Sol. | | | | | | |
| 67 | Вид <i>Tribonema spirotaenia</i> Ettl. Прес. - | - | 2 | | 1 n | | |
| 68 | <i>Tribonema affine</i> West. Прес. - | - | 2 | | 5 n | | |
| 69 | <i>Tribonema subtilissima</i> Pasch. Прес.- | - | 2 | - | 3 б | | |
| | Всего: 4 | - | | - | 4 | - | -- |
| | Отдел Chlorophyta | | | | | | |
| | Класс <i>Siphonocladophyceae</i> | | | | | | |
| | Порядок <i>Cladophorales</i> | | | | | | |
| | Семейство <i>Cladophoraceae</i> (Hass.) Wittr.em | | | | | | |
| | Род <i>Chaetomorpha</i> Kuetz. | | | | | | |
| 70 | Вид <i>Rhizoclonium profundum</i> Brand Прес. – солон. | - | 21 | | | 5б | 5 n |
| | Класс <i>Conjugatophyceae</i> | | | | | | |
| | Порядок <i>Desmidiiales</i> | | | | | | |
| | Семейство <i>Closteriaceae</i> | | | | | | |
| | Род <i>Closterium</i> Nitzsch. | | | | | | |
| 71 | Вид <i>Closterium leibleinii</i> Kuetz. Прес. – солон. + кат. | | 2 | | | 5 б | |
| | Всего: 2 | - | | - | - | 2 | 1 |
| | Итого: 71 | 6 | | 31 | 27 | 35 | 2 |

Систематический анализ показывает из выше изложенной таблицы 1, что найденные видовые составы в количестве 71 вид и разновидностей и форм водорослей, относятся к 24 родам, 14 семействам, 10 порядкам, 8 классам и всего к 4 отделам. По видовому богатству доминирующим отделом является Bacillariophyta, который состоит из 56 видов, разновидностей и форм водорослей, затем следуют отделы: Cyanophyta – 9, Xanthophyta – 4, Chlorophyta – 2 (табл. 2).

Таблица 2.

Количество таксономического состава альгофлоры
Акдьярнского водохранилища

| Отдел водорослей | класс | порядок | семейство | род | Всего видов и разновидностей | Из них | | | % |
|------------------|----------|-----------|-----------|-----------|------------------------------|--------|----------|-------|------------|
| | | | | | | вид | вариация | форма | |
| Cyanophyta | 2 | 3 | 4 | 6 | 9 | 8 | - | 1 | 12,67 |
| Bacillariophyta | 2 | 3 | 6 | 14 | 56 | 49 | 6 | 1 | 78,87 |
| Xanthophyta | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 | - | - | 5,63 |
| Chlorophyta | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | - | - | 2,81 |
| Всего 4 | 8 | 10 | 14 | 24 | 71 | 63 | 6 | 2 | 100 |

В отделе *Cyanophyta* выявленная альгофлора составляет 12,67%, она состоит из 9 видов, из них 8 различных разновидностей и 1 форма. Они относятся к 2 классу, 3 порядку, 4 семейству и 6 роду. В классе *Chroococophyceae* порядка *Chroococcales* семейства *Merismopediaceae* Elenk в роде *Merismopedia* (Meyen.) Elenk обнаружен вид *Merismopedia elegans* A.Вг. Доля этого вида в отделе составляет всего 11,11%.

В семействе первого порядка *Anabaenaceae* Elenk., *Nostocaceae* Kuetz. emend. входит класс *Hormogoniophyceae* порядка *Nostocales* (Geitl.) Elenk. И *Oscillatoriales* Elenk.

В классе *Hormogoniophyceae* порядка *Nostocales* (Geitl.) Elenk. и *Oscillatoriales* Elenk. включает в себя семейство *Anabaenaceae* Elenk., *Nostocaceae* Kuetz. emend., относящееся к первому порядку. Из семейства *Anabaenaceae* Elenk. род *Nostoc* Adanson определен вид *Anabaena constricta* (Szaf.) Geitl.

Из порядка *Oscillatoriales* Elenk. Семейства *Oscillatoriaceae* (Kirchn.) Elenk. Рода *Oscillatoria* Vauch. распространены виды *Oscillatoria quadripunctulata* Brühl.et Biswas, *O. limosa* Ag. f. *desperso – granulata* (Schkorb.) Elenk. и *O. rupicola* Hansg.

В роде *Spirulina* Turp. имеются виды *Spirulina jeneri* (Hass.) Kuetz., *S.gomontiana* (Setchell) Geitl., в роде *Formidium* Kuetz. встречается *Formidium tenue* (Menegh.) Gom. Доля класса в отделе составляет 88,88%.

К семействам отдела относятся *Oscillatoriaceae* (Kirchn.) Elenk., они включают в себя 6 видов, доля их в отделе 66,66%. *Oscillatoria* Vauch. является полиморфным родом, в них определены 6 видов, доля их в отделе составляет 33,33 % (табл. 3).

Таблица 3.

| Названия | | | | | | |
|-------------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|--|---|
| отделов во- дорослей | классов | порядка | подпорядка | семейств | родов | видов, вариаций и форм |
| Суанопхита | <i>Chroococophyceae</i> | <i>Chroococales</i> | <i>Planimetreaceae</i> Elenk. | <i>Merismopediaceae</i> Elenk. | <i>Merismopedia</i> (Meyen.)Elenk. | <i>Merismopedia elegans</i> A.Br. |
| | | | | <i>Nostocaceae</i> Kuetz. emend. (Kirchner) emend Elenk. | <i>Nostoc</i> Adanson | <i>Nostoc zetterstedtii</i> Aresch. |
| | <i>Hormogoniophyceae</i> | <i>Oscillatoriales</i> Elenk. | <i>Symtreaceae</i> Elenk. | <i>Anabaena-ceae</i> Elenk. | <i>Anabaena</i> Bory | <i>Anabaena constricta</i> (Szaf.) Geitl. |
| | | | | <i>Oscillatoria-ceae</i> (Kirchn.) Elenk. | <i>Oscillatoria</i> Vauch. | <i>Oscillatoria quadripunctulata</i> Brühl.et Biswas <i>Oscillatoria limosa</i> Ag. f. <i>desperso – granulate</i> (Schkorb.) Elenk. <i>Oscillatoria rupicola</i> Hansg. |
| | | | | | <i>Spirulina</i> Turp. | <i>Spirulina jeneri</i> (Hass.) Kuetz. f. <i>jeneri</i> <i>Spirulina gomontiana</i> (Setchell) Geitl. |
| | | | | <i>Formidium</i> Kuetz. | <i>Formidium tenue</i> (Menegh.) Gom. | |
| Всего: | 2 | 2 | 2 | 4 | 6 | Всего: 9 (8 видов, 1 форма) |

Bacillariophyta является ведущим отделом альгофлоры, в водохранилище обхватываются всего 78,87% из них 56 видов и разнообразие видов (49 видов, 16 вариаций и 1 форма). В отделе класса *Centriceae*, порядок *Discoidales*, семейства *Coscinodiscaceae* Kuetz., рода *Cyclotella* Kuetz. выявлен вид *Cyclotella ocellata* Pant., *C.comta* (Ehr.) Kuetz. Доля класса в отделе составит 3,57%.

Класс *Pennatae* считается ведущим не только в отделе, но и в альгофлоре. В порядке *Araphinales* Schütt семейства *Fragilariaceae* (Kuetz.) D.T. из рода *Diatoma* D.C. определен вид *Diatoma hiemale* (Lyngb.) Heib, из рода *Fragilaria* Lingb. определены виды *Fragilaria capucina* Desm. *F.intermedia* Grun., *F. virescens* Ralfs., *F. virescens* var.*exigua* Grun., *F. bicapitata* A.Mayer;

В роде *Synedra* Ehr. определены виды *Synedra ulna* var. *aequalis* (Kuetz.) Hust., *S. ulna* (Nitzsch.) Ehr., *S. pulchella* (Ralfs) Kuetz., *S. ulna* var. *amphirhynchus* (Ehr.) Grun., *S.tabulate* (Ag.) Kuetz.

В порядке *Raphinales* семейства *Achnantheae* (Kuetz.) Grun. рода *Achnanthes* Bory определены виды *Achnanthes conspiciua* A.Meyer. var. *brevistriata* Hust.;

В семействе *Naviculaceae* West. рода *Navicula* Bory определены виды *Navicula cryptocephala* var.*veneta* (Kuetz.) Grun., *N.subtilissima* var. *baicalensis* Skv. *N. perpusilla* Grun.;

В роде *Neidium* Pfitz. определен вид *Neidium distincte – punctatum* Hust.

В роде *Caloneis* Cl. определен вид *C. alpestris* (Grun.) Cl., в роде *Gyrosigma* Hass. определены виды *Gyrosigma distortum* (W.Sm.) Cl., *G. acuminatum* (Kuetz.) Rabenh.

В роде *Amphora* Ehr. определены виды *Amphora commutata* Grun., *A. lineolata* Ehr. *A. ovalis* var. *libyca* Kuetz., *A. ovalis* var. *constricta* Skv., *A. ovalis* var. *gracilis* Ehr., *A. ovalis* Kuetz. var. *pediculus* Kuetz..

В роде *A. costulata* Skv., *Cymbella* Ag. встречаются виды *Cymbella parva* (W.Sm.) Cl., *C. lacustris* (Ag.) Cl. f. *baicalensis* Skv., *C. tartuensis* Mölder, *C. helvetica* Kuetz., *C.reinhardtii* Grun., *C.aequalis* W.Sm., *C.lata* var. *baicalensis* Skv.

В семействе *Nitzschiaceae* рода *Nitzschia* Hass. встречаются виды *Nitzschia vermicularis* (Kuetz.) Grun., *N. distans* Greg., *N. filiformis* (W.Sm.) Hust., *N. regula* Hust., *N. sigmoidea* (Ehr.) W.Sm., *N. frustulum* var. *asiatica* Hust., *N. frustulum* var. *subsalina* Hust., *N. distans* var. *tumescens* Grun., *N. angularis* W.Sm., *N. acuta* Hantzsch., *N. obtusa* W.Sm., *N. sublinearis* Hust., *N. subvitrea* Hust., *N. acicularis* W.Sm.;

Из семейства *Surirellaceae* (Kuetz.) Grun. из рода *Cymatopleura* W.Sm. определены виды *Cymatopleura elliptica* var. *constricta* Grun., из рода *Surirella* Turp. определены виды *Surirella didyma* Kuetz., *S. linearis* W.Sm., *S. ovalis* Breb., *S. linearis* W.Sm. var. *constricta* (Ehr.) Grun., *S. capronii* Breb., *S.tenera* Greg.

Таблица 4.

Флора-систематический анализ отдела диатомовых водорослей (Bacillariophyta) Акдарьинского водохранилища среднего течения реки Зарафшан

| Отдел водорослей | Названия и количество | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|---|--------------------------------|--|---|
| | классов | порядка | подпор. | семейств | родов | видов, вариаций и форм | |
| <i>Bacillariophyta (Diatomeae)</i> | <i>Centricae</i> | <i>Discooidales</i> | | <i>Coscinodiscaceae</i> Kuetz. | <i>Cyclotella</i> Kuetz. | <i>Cyclotella ocellata</i> Pant. <i>Cyclotella comta</i> (Ehr.) Kuetz. | |
| | <i>Pennatae</i> | <i>Araphinales</i> Schütt | <i>Monoraphineeae</i> | <i>Achnantheaceae</i> (Kuetz.) D.T. Kuetz.) Grun. | <i>Fragilaria</i> Lin. in D.C. | <i>Diatoma</i> | <i>Diatoma hiemale</i> (Lyngb.) Heib. |
| | | | | | | <i>Fragilaria</i> in gb. | <i>Fragilaria capucina</i> Desm. <i>Fragilaria intermedia</i> Grun. <i>Fragilaria virescens</i> Ralfs. <i>Fragilaria virescens</i> var. <i>exigua</i> Grun. <i>Fragilaria bicapitata</i> A. Mayer |
| | | | | | | <i>Synedra</i> Ehr. | <i>Synedra ulna</i> var. <i>aequalis</i> (Kuetz.) Hust. <i>Synedra ulna</i> (Nitzsch.) Ehr. <i>Synedra pulchella</i> (Ralfs) Kuetz. <i>Synedra ulnavar. amphirhynchus</i> (Ehr.) Grun. <i>Synedra tabulate</i> (Ag.) Kuetz. |
| | | | | | | <i>Achnanthes</i> Bory | <i>Achnanthes conspicua</i> A. Meyer. var. <i>brevistriata</i> Hust. |
| | | | | | | <i>Naviculaceae</i> West. | <i>Navicula</i> Bory <i>Navicula cryptocephala</i> var. <i>veneta</i> (Kuetz.) Gru. <i>Navicula subtilissima</i> var. <i>baicalensis</i> Skv. <i>Navicula perpusilla</i> Grun. |
| | <i>Diraphineae</i> | <i>Raphinales</i> | <i>Monoraphineeae</i> | <i>Achnantheaceae</i> (Kuetz.) D.T. Kuetz.) Grun. | <i>Neidium</i> Pfltz. | <i>Neidium distincte – punctatum</i> Hust. | |
| | | | | | <i>Caloneis</i> Cl. | <i>Caloneis alpestris</i> (Grun.) Cl. | |
| | | | | | <i>Gyrosigma</i> Hass. | <i>Gyrosigma distortum</i> (W.Sm.) Cl. <i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kuetz.) Rabenh. | |

| | | | | | | | |
|---------|---|---|---|---|------------------------------|--|---|
| | | | | | Amphora Ehr. | <i>Amphora commutate</i> Grun. <i>Amphora lineolata</i> Ehr. <i>Amphora ovalis</i> var. <i>libyca</i> Kuetz. <i>Amphora ovalis</i> var. <i>constricta</i> Skv. <i>Amphora ovalis</i> var. <i>gracilis</i> Ehr. <i>Amphora ovalis</i> Kuetz. var. <i>pediculus</i> Kuetz. <i>Amphora costulata</i> Skv. | |
| | | | | | Cymbella Ag. | <i>Cymbella parva</i> (W.Sm.) Cl. <i>Cymbella lacustris</i> (Ag.) Cl. <i>f. baicalensis</i> Skv. <i>Cymbella tartuensis</i> Mölder <i>Cymbella helvetica</i> Kuetz. <i>Cymbella reinhardtii</i> Grun. <i>Cymbella aequalis</i> W.Sm. <i>Cymbella lata</i> var. <i>baicalensis</i> Skv. | |
| | | | | | Nitzschiaceae | Nitzschia Hass. | <i>Nitzschia vermicularis</i> (Kuetz.) Grun. <i>Nitzschia distans</i> Greg. <i>Nitzschia filiformis</i> (W.Sm.) Hust. <i>Nitzschia regula</i> Hust. <i>Nitzschiasigmoidea</i> (Ehr.) W.Sm. <i>Nitzschia frustulum</i> var. <i>asiatica</i> Hust. <i>Nitzschia frustulum</i> var. <i>subsalina</i> Hust. <i>Nitzschia distans</i> var. <i>tumescens</i> Grun. <i>Nitzschia angularis</i> W.Sm. <i>Nitzschia acuta</i> Hantzsch. <i>Nitzschia obtusa</i> W.Sm. <i>Nitzschia sublinearis</i> Hust. <i>Nitzschia subvitrea</i> Hust. <i>Nitzschia acicularis</i> W.Sm. |
| | | | | | Surirellaceae (Kuetz.) Grun. | Cymatopleura W. Sm | <i>Cymatopleura elliptica</i> var. <i>constricta</i> Grun. |
| | | | | | Surirella Turp. | <i>Surirella didyma</i> Kuetz. <i>Surirella linearis</i> W.Sm. <i>Surirella ovalis</i> Breb. <i>Surirella linearis</i> W.Sm. var. <i>constricta</i> (Ehr.) Grun. <i>Surirella capronii</i> Breb. <i>Surirella tenera</i> Greg. | |
| Всего : | 2 | 3 | 3 | 6 | 14 | Всего: 56 : вид 49, вариация 16, форма 1 | |

Fragilariaceae (Kuetz.) D.T., *Naviculaceae* West., *Nitzschiaceae*, *Surirellaceae* (Kuetz.) Grun считаются полиморфным семейством в отделе. Они состоят из разнообразия видов, их всего 53 вида, они составляют 94,64% в отделе. Число полиморфных родов 7 - это *Fragilaria* Lingb., *Synedra* Ehr., *Navicula* Bory, *Amphora* Ehr., *Cymbella* Ag., *Nitzschia* Hass., *Surirella* Turp. Они объединяют в себя разнообразие видов и их 47 видов, доля их в отделе составляет 83,92% (табл. 4).

В отделе *Xanthophyta* определены всего 4 вида, их доля в альгофлоре составляет 5,63%. Класс *Heterococccophyceae* порядка *Heterococcales* семейства *Chlorotheciaceae* рода *Ophiocytium* Naeg. определены виды *Ophiocytium gracillimum* Borzi em.Pasch.

В классе *Heterotrychophyceae* порядка *Tribonematales* семейства *Tribonemataceae* Pasch. Рода *Tribonema* Derb. et Sol. встречаются виды *Tribonema spirotaenia* Ettl., *T. affine* West и *T. subtilissima* Pasch. (табл. 5).

В отделе *Chlorophyta* определены 2 вида, их доля в альгофлоре составляет 2,81%. В классе *Siphonocladophyceae* порядка *Cladophorales* семейства *Cladophoraceae* (Hass.) Wittr.em.рода *Chaetomorpha* Kuetz. выявлен вид *Rhizoclonium profundum* Brand; в классе *Conjugatophyceae* порядка *Desmidiiales* семейства *Closteriaceae* рода *Closterium* Nitzsch. выявлен вид *Closterium leibleinii* Kuetz. (табл. 5).

Таблица 5.

Флора-систематический анализ отделов желтозеленых (*Xanthophyta*) и зеленых водорослей (*Chlorophyta*) Акдарьинского водохранилища среднего течения реки Зарафшан

| Названия | | | | | |
|--------------------|----------------------------|-----------------------|--|--------------------------------|---|
| отделов водорослей | классов | порядка | семейств | родов | видов, вариаций и форм |
| <i>Xanthophyta</i> | <i>Heterococccophyceae</i> | <i>Heterococcales</i> | <i>Chlorotheciaceae</i> | <i>Ophiocytium</i> Naeg. | <i>Ophiocytium gracillimum</i> Borzi em. Pasch. |
| | <i>Heterotrychophyceae</i> | <i>Tribonematales</i> | <i>Tribonemataceae</i> Pasch. | <i>Tribonema</i> Derb. et Sol. | <i>Tribonema spirotaenia</i> Ettl <i>Tribonema affine</i> West <i>Tribonema subtilissima</i> Pasch. |
| <i>Всего</i> | 22 | 22 | 22 | 22 | 4 |
| <i>Chlorophyta</i> | <i>Siphonocladophyceae</i> | <i>Cladophorales</i> | <i>Cladophoraceae</i> (Hass.) Wittr.em | <i>Chaetomorpha</i> Kuetz. | <i>Rhizoclonium profundum</i> Brand |
| | <i>Conjugatophyceae</i> | <i>Desmidiiales</i> | <i>Closteriaceae</i> | <i>Closterium</i> Nitzsch. | <i>Closterium leibleinii</i> Kuetz. |
| <i>Всего</i> | 22 | 22 | 22 | 22 | 2 |

Полиморфным классом альгофлоры считаются *Hormogoniophyceae* (8 видов), *Pennatae* (54 вида), *Heterotrychophyceae* (3 вида). Они включают в себя 65 видов и разнообразий видов в альгофлоре, всего их 91,54% вида. Число полиморфных порядков всего 4 - в них входят *Oscillatoriales* Elenk. (6 видов), *Araphinales* Schütt (11 видов), *Raphinales* (41 вид), *Tribonematales* (3 вида). В альгофлоре они объединяют 61 вид и составляют 81,95%. Число полиморфных семейств -6, они *Oscillatoriaceae* (Kirchn.) Elenk. (6 видов), *Fragilariaceae* (Kuetz.) D.T. (11 видов), *Naviculaceae* West. (21 вид), *Nitzschiaceae* (14 видов), *Surirellaceae* (Kuetz.) Grun. (6 видов), *Tribonemataceae* Pasch. (3 вида). В альгофлоре они объединяют 62 вида и составляют 87,32%. Число полиморфных родов - 9, они *Oscillatoria* Vauch. (3 вида), *Fragilaria* Lingb. (5 видов), *Synedra* Ehr. (5 видов), *Navicula* Bory (3 вида), *Amphora* Ehr. (7 видов), *Cymbella* Ag. (7 видов), *Nitzschia* Hass. (14 видов), *Surirella* Turp. (6 видов), *Tribonema* Derb. et Sol. (3 вида), они объединяют 53 вида, в составе альгофлоры считаются 74,64% (Таблица 6).

Таблица 6.

Полиморфные таксоны альгофлоры Акдарьинского водохранилища

| Класс | Отдел | Количество видов | % из общего число альгофлоры |
|-----------------------------------|----------------|------------------|------------------------------|
| Hormogoniophyceae | Цианопхита | 8 | 11,26 |
| Pennatae | Бацилариопхита | 54 | 76,05 |
| Heterotrychophyceae | Хлорофита | 3 | 4,22 |
| 3 | 3 | 65 | 91,54 |
| Порядок | Отдел | Количество видов | % из общего число альгофлоры |
| Oscillatoriales Elenk. | Цианопхита | 6 | 8,45 |
| Araphinales Schutt | Бацилариопхита | 11 | 15,49 |
| Raphinales | | 41 | 57,74 |
| Tribonematales | Хантофита | 3 | 4,22 |
| 4 | 3 | 61 | 81,95 |
| Семейства | Отдел | Количество видов | % из общего число альгофлоры |
| Oscillatoriaceae (Kirchn.) Elenk. | Цианопхита | 6 | 8,45 |
| Fragilariaceae (Kuetz.) D.T. | Бацилариопхита | 11 | 15,49 |
| Naviculaceae West. | | 21 | 29,57 |
| Nitzschiaceae | | 14 | 19,71 |
| Surirellaceae (Kuetz.) Grun. | | 7 | 9,85 |

| | | | |
|----------------------------|-----------------|------------------|---------------------------------|
| Tribonemataceae Pasch. | Xantophyta | 3 | 4,22 |
| 6 | 3 | 62 | 87,95 |
| Роды | Отдел | Количество видов | % из общего число альгофлоры |
| Oscillatoria Vauch. | Цианопхита | 3 | 4,22 |
| Fragilaria Lingb. | Bacillariophyta | 5 | 7,04 |
| Synedra Ehr. | | 5 | 7,04 |
| Navicula Bory | | 3 | 4,22 |
| Amphora Ehr. | | 7 | 9,85 |
| Cymbella Ag. | | 7 | 9,85 |
| Nitzschia Hass. | | 14 | 19,71 |
| Surirella Turp. | | 6 | 8,45 |
| Tribonema Derb. et Sol. | Xantophyta | 3 | 4,22 |
| 7 | 3 | 53 | 74,64 |

Классы с наименьшим числом видов объединяются 6 видами, составляющие 8,45% - *Chroococccophyceae* (1 вид), *Centricae* (2 вида), *Heterococccophyceae* (1 вид), *Siphonocladophyceae* (1 вид), *Conjugatophyceae* (1 вид). Виды с наименьшим числом порядка считаются *Chroococcales* (1 вид), *Nostocales* (Geitl.) Elenk. (2 вид), *Discoidales* (2 вида), *Heterococcales* (1 вид), *Cladophorales* (1 вид), *Desmidiiales* (1 вид) всего их 8 видов, составляющие 11,26%. Виды с наименьшим числом семейства *Merismopediaceae* Elenk. (1 тип), *Nostocaceae* Kuetz. emend. (1 тип), *Anabaenaceae* Elenk. (1 тип), *Coscinodiscaceae* Kuetz. (2 тип), *Achnanthaceae* (Kuetz.) Grun. (1 тип), *Chlorotheciaceae* (1 тип), *Cladophoraceae* (Hass.) Wittr.em (1 тип), *Closteriaceae* (1 тип), всего их 7 видов, составляющие 9,85%.

Виды с наименьшим числом рода объединяются 15 видами, которые составляют 21,12% - *Merismopedia* (Meyen.) Elenk. (1 вид), *Nostoc* Adanson (1 вид), *Anabaena* Bory (1 вид), *Spirulina* Turp. (1 вид), *Phormidium* Kuetz. (1 вид), *Cyclotella* Kuetz. (2 вид), *Diatoma* D.C. (1 вид), *Achnanthes* Bory (1 вид), *Neidium* Pfitz. (1 вид), *Caloneis* Cl. (1 вид), *Gyrosigma* Hass. (1 вид), *Cumatopleura* W. Sm (1 вид), *Ophiocytium* Naeg. (1 вид), *Chaetomorpha* Kuetz. (1 вид), *Closterium* Nitzsch (1 вид).

Выявлено, что в Акдарьинском водохранилище таксономические спектры альгофлоры бывают своеобразными. В таблице 7 видно заметное изменение в последовательности спектра, например, в отделе *Bacillariophyta* соотношение вида к роду составляет 4, соотношение рода к семейству – 4, соотношения порядка к семейству 2 и соотношения класса к порядку

составляет 1,5 коэффициент; в отделе *Cyanophyta* соотношение вида к роду составляет 1,5, соотношение рода к семейству – 1,5, соотношения порядка к семейству 1,33 и соотношения класса к порядку составляет 1,5 коэффициент; в отделе *Xanthophyta* соотношение вида к роду составляет 2, соотношение рода к семейству – 1, соотношения порядка к семейству 1 и соотношения класса к порядку составляет 1 коэффициент; в отделе *Chlorophyta*, во всех соотношениях выявлен 1 коэффициент.

Всего по показателям в альгофлоре обнаружено коэффициентное соотношение видов к родам 2,96, соотношение видов к семейству 1,71, соотношение семейства к порядку 1,4, соотношение классов к порядкам – 1,25 (табл. 7).

Таблица 7.

Спектр таксонов альгофлоры Акдарьинского водохранилища

| Отдел | класс | порядок | семейство | Род | Вид и разновидность |
|------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|---------------------|
| Bacillariophyta | 2 | 3 | 6 | 14 | 56 |
| Коэффициент: | 1,5 | 2 | 4 | 4 | |
| Cyanophyta | 2 | 3 | 4 | 6 | 9 |
| Коэффициент: | 1,5 | 1,33 | 1,5 | 1,5 | |
| Xanthophyta | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 |
| Коэффициент: | 1 | 1 | 1 | 2 | |
| Chlorophyta | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Коэффициент: | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Всего: | 8 | 10 | 14 | 24 | 71 |
| Коэффициент: | 1,25 | 1,4 | 1,71 | 2,96 | |

Заключение

Таксономический анализ альгофлоры Акдарьинского водохранилища проводится впервые. В среднем течении реки Зарафшан отмечено большое количество взвешенных веществ и с относительно высокой минерализацией. Этот фактор благоприятно влияет на развитие, формирование и интенсивное распространение водорослей отдела *Bacillariophyta*, *Cyanophyta*, *Xanthophyta*, *Chlorophyta*. По содержанию биоразнообразия оценивается и самым богатым является отдел диатомовых водорослей (*Bacillariophyta*), он содержит всего 56 (видов - 49, вариаций – 6, форма - 1); за ними следуют синезеленые (*Cyanophyta*) – 9 (8 видов, 1 форма), желтозеленые (*Xanthophyta*) – 4, зеленые (*Chlorophyta*) – 2 вида водорослей.

Флора-систематический анализ показывает, что обнаруженные виды, разновидности и формы водорослей (71) Акдарьинского водохранилища среднего течения реки Зарафшан, имеют своеобразные таксономические

структуры, которые принадлежат к 24 родам, 14 семействам, 5 подпорядкам, 10 порядкам, 2 классам из 4 отделов водорослей.

Эколого-географические особенности влияют на состав таксонов, что обеспечивают своеобразное формирование альгофлоры в качестве первичной продуктивности продуцентов экосистемы Акдарьинского водохранилища.

Список литературы

1. Абдиев И.О. Характеристики альгофлоры Акдарьинского водохранилища (в среднем течении реки Зарафшан) // Вестник науки. Т. 3, №2 (23). Тальятти, 2020. С. 106-111.
2. Алимжанова Х.А., Ташпулатов Й.Ш., Соатов Г.Т., Мирзаев У.Т., Ражабова М.С. Весенние фитопланктоны *Bacillariophyta* Акдарьинского водохранилища среднего течения реки Зарафшан // Материалы Научно-практической конференции «Актуальные проблемы биологии и экологии». Ташкент, 2015. С. 34-39.
3. Алимжанова Х.А., Ташпулатов Й.Ш., Соатов Г.Т., Мирзаев У.Т., Ражабова М.С. Летние фитопланктоны *Bacillariophyta* и *Xanthophyta* Акдарьинского водохранилища среднего течения реки Зарафшан // Материалы научно-практического семинара «Актуальные проблемы биологии, экологии и почвоведения». Ташкент, 2016. С. 23-24.
4. Дедусенко-Щеголева Н.Т., Голлербах М.М. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 5. Желтозеленые водоросли (*Xanthophyta*). М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962. 271 с.
5. Диатомовый анализ. Кн. 2. Жузе А.П., Киселев И.А., Порецкий В.С., Прошкина-Лавренко А. И. Л.: Госгеоллиздат, 1949. 44 с.
6. Голлербах М.М., Полянский В.И. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 1. Общая часть. Пресноводные водоросли и их изучение. М.: Советская наука, 1951. 350 с.
7. Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 2. Синезеленые водоросли. М.: Советская наука, 1953. 651 с.
8. Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.А. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4. Диатомовые водоросли. М.: Советская наука, 1951. 619 с.
9. Музафаров А.М., Эргашев А.Э., Халилов С. Определитель сине-зеленых водорослей Средней Азии. Кн. 1. Ташкент: Фан, 1987. 405с.
10. Музафаров А.М., Эргашев А.Э., Халилов С. Определитель сине-зеленых водорослей Средней Азии. Кн. 2. Ташкент: Фан, 1988. С. 406-815.

11. Музафаров А.М., Эргашев А.Э., Халилов С. Определитель сине-зеленых водорослей Средней Азии. Кн.3. Ташкент: Фан, 1988. С. 816-1215.
12. Музафаров А.М., Мусаев К.Ю. Материал к флоре водорослей водохранилищ бассейна реки Зарафшан // Труды ТашГУ. Ташкент, 1961. №187. С. 235-248.
13. Ташпулатов Й.Ш. Таксономический анализ альгофлоры Акдарьинского водохранилища (Бассейн р.Зарафшан, Узбекистан) // Гидробиол. 2017. Т. 53, №5. С.50-55.
14. Ташпулатов Й.Ш., Кобулова Б.Б. Экологическая характеристика альгофлоры среднего течения реки Зарафшан. Молодой учёный. Международный научный журнал. 2016, № 6, часть III. С. 268 – 272.
15. Ташпулатов Й.Ш., Кобулова Б.Б. Таксономический анализ ведущих отделов в альгофлоре среднего течения реки Зарафшан // Молодой учёный. 2016, № 8, часть III. С. 378-381.
16. Халилов С.А., Шоякубов Р.Ш., Темиров А.А., Козирахимова Н.К. Определитель улотриковых водорослей Узбекистана. НИЦП «Ботаника» АН РУз. Наманган. 2009. 283 с.
17. Эргашев А.Э. Альгофлора искусственных водоемов Средней Азии. Ташкент: Фан, 1974. 252 с.
18. Эргашев А.Э. Закономерности развития и распределения альгофлоры в искусственных водоемах Средней Азии. Ташкент: Фан, 1976. 360 с.
19. Эролова Х. Флористический анализ Каттакурганского водохранилища // Ботаника, экология, охрана растений материалы международной научной конференции. Андижан, 2001. С. 208-209.
20. Эролова Х. Вертикальное распределение водорослей Каттакурганского водохранилища // Актуальные проблемы альгологии, микологии и гидробиологии: Материалы проблемы альгологии, международной конференции. Ташкент, 2009. С.165-167.

References

1. Abdiev I.O. Kharakteristiki al'goflory Akdar'inskogo vodokhranilishcha (v srednem techenii reki Zarafshan) [Characteristics of the alga flora of the Akdarya reservoir (in the middle reaches of the Zarafshan river)]. *Vestnik nauki*, 2020, vol. 3, no. 2 (23), pp. 106-111.
2. Alimzhanova Kh.A., Tashpulatov Y.Sh., Soatov G.T., Mirzaev U.T., Razhabova M.S. Vesennie fitoplanktony Bacillariophyta Akdar'inskogo vodokhranilishcha srednego techeniya reki Zarafshan [Spring phytoplankton Bacillariophyta of the Akdarya reservoir of the middle course of the Zarafshan River]. *Materialy*

- Nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktual'nye problemy biologii i ekologii»* [Proceedings of the Scientific and Practical Conference “Actual Problems of Biology and Ecology”]. Tashkent, 2015, pp. 34-39.
3. Alimzhanova Kh.A., Tashpulatov Y.Sh., Soatov G.T., Mirzaev U.T., Razhabova M.S. Letnie fitoplanktony Bacillariophyta i Xantophyta Akdar'inskogo vodokhranilishcha srednego techeniya reki Zarafshan [Summer phytoplankton Bacillariophyta and Xanthophyta of the Akdarya reservoir of the middle course of the Zarafshan River]. *Materialy nauchno-prakticheskogo seminar «Aktual'nye problemy biologii, ekologii i pochvovedeniya»* [Proceedings of the scientific-practical seminar “Actual problems of biology, ecology and soil science”]. Tashkent, 2016, pp. 23-24.
 4. Dedusenko-Shchegoleva N.T., Gollerbakh M.M. *Opredelitel' presnovodnykh vodorosley SSSR. Vyp. 5. Zheltozelenye vodorosli (Xanthophyta)* [Key to freshwater algae of the USSR. Issue. 5. Yellow-green algae (Xanthophyta)]. M.; L.: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1962, 271 p.
 5. Zhuze A.P., Kiselev I.A., Poretsky V.S., Proshkina-Lavrenko A.I. *Diatomovyy analiz* [Diatom analysis]. Book. 2. L.: Gosgeolizdat, 1949, 44 p.
 6. Gollerbakh M.M., Polyansky V.I. *Opredelitel' presnovodnykh vodorosley SSSR. Vyp. 1. Obshchaya chast'. Presnovodnye vodorosli i ikh izuchenie* [Key to freshwater algae of the USSR. Issue. 1. General part. Freshwater algae and their study]. M.: Sovetskaya nauka, 1951, 350 p.
 7. Gollerbakh M.M., Kosinskaya E.K., Polyansky V.I. *Opredelitel' presnovodnykh vodorosley SSSR. Vyp. 2. Sinezelenye vodorosli* [Key to freshwater algae of the USSR. Issue. 2. Blue-green algae]. Moscow: Sovetskaya nauka, 1953, 651 p.
 8. Zabelina M.M., Kiselev I.A., Proshkina-Lavrenko A.I., Sheshukova V.A. *Opredelitel' presnovodnykh vodorosley SSSR. Vyp. 4. Diatomovye vodorosli* [Key to Freshwater Algae of the USSR. Issue. 4. Diatoms]. M.: Sovetskaya nauka, 1951, 619 p.
 9. Muzafarov A.M., Ergashev A.E., Khalilov S. *Opredelitel' sine-zelenykh vodorosley Sredney Azii. Kn. 1* [Key to blue-green algae in Central Asia. Book 1]. Tashkent: Fan, 1987, 405 p.
 10. Muzafarov A.M., Ergashev A.E., Khalilov S. *Opredelitel' sine-zelenykh vodorosley Sredney Azii. Kn. 2* [Key to blue-green algae in Central Asia. Book 2]. Tashkent: Fan, 1988, pp. 406-815.
 11. Muzafarov A.M., Ergashev A.E., Khalilov S. *Opredelitel' sine-zelenykh vodorosley Sredney Azii. Kn. 3* [Key to blue-green algae in Central Asia. Book 3]. Tashkent: Fan, 1988, pp. 816-1215.
 12. Muzafarov A.M., Musaev K.Yu. Material k flore vodorosley vodokhranilishch basseyna reki Zarafshan [Material for the flora of algae in the reservoirs of the

- Zarafshan river basin]. *Trudy TashGU* [Proceedings of Tashkent State University]. Tashkent, 1961, no. 187, pp. 235-248.
13. Tashpulatov Y.Sh. Taksonomicheskiy analiz al'goflory Akdar'inskogo vodokhranilishcha (Basseyn r.Zarafshan, Uzbekistan) [Taxonomic analysis of the algaeflora of the Akdarya reservoir (Basin of the Zarafshan river, Uzbekistan)]. *Gidrobiol.*, 2017, vol. 53, no. 5, pp. 50-55.
 14. Tashpulatov Y.Sh., Kobulova B.B. Ekologicheskaya kharakteristika al'goflory srednego techeniya reki Zarafshan [Ecological characteristics of the algal flora of the middle reaches of the Zarafshan River]. *Molodoy ucheny*, 2016, no. 6, part III, pp. 268 - 272.
 15. Tashpulatov Y.Sh., Kobulova B.B. Taksonomicheskiy analiz vedushchikh otdelov v al'goflore srednego techeniya reki Zarafshan [Taxonomic analysis of the leading divisions in the algaeflora of the middle course of the Zarafshan River]. *Molodoy ucheny*, 2016, no. 8, part III. pp. 378-381.
 16. Khalilov S.A., Shoyakubov R.Sh., Temirov A.A., Kozirakhimova N.K. *Opredelitel' ulotriksovykh vodorosley Uzbekistana* [Key to ulotrix algae of Uzbekistan]. NCP "Botany" of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan. Namangan, 2009, 283 p.
 17. Ergashev A.E. *Al'goflora iskusstvennykh vodoemov Sredney Azii* [Algaeflora of artificial reservoirs of Central Asia]. Tashkent: Fan, 1974, 252 p.
 18. Ergashev A.E. *Zakonomernosti razvitiya i raspredeleniya al'goflory v iskusstvennykh vodoemakh Sredney Azii* [Patterns of development and distribution of algaeflora in artificial reservoirs of Central Asia]. Tashkent: Fan, 1976, 360 p.
 19. Erolova H. Floristicheskiy analiz Kattakurganskogo vodokhranilishcha [Floristic analysis of the Kattakurgan reservoir]. *Botanika, ekologiya, okhrana rasteniy materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Botany, ecology, plant protection materials of the international scientific conference]. Andijan, 2001, pp. 208-209.
 20. Erolova H. Vertikal'noe raspredelenie vodorosley Kattakurganskogo vodokhranilishcha [Vertical distribution of algae in the Kattakurgan reservoir]. *Aktual'nye problemy al'gologii, mikologii i gidrobotaniki: Materialy problemy al'gologii, mezhdunarodnoy konferentsii* [Actual problems of algology, mycology and hydrobotany: Proceedings of the problem of algology, international conference]. Tashkent, 2009, pp.165-167.

ВКЛАД АВТОРОВ

Алимжанова Х.А.: концепция исследования, проверка критически важного интеллектуального содержания, окончательное утверждение рукописи для публикации.

Ражабова М.С.: сбор и обработка клинического материала, обоснование и написание рукописи.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Kholiskhon A. Alimjanova: concept of research, verification of critical intellectual content, final approval of manuscript for publication.

Mamura S. Rajabova: collection and processing of clinical material, substantiation and writing of the manuscript.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Алимжанова Холискhon Алимжановна, доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник
Институт Ботаники Академии Наук Республики Узбекистан
ул. Дурмонйули, 32, г. Ташкент, 100125, Узбекистан
alimjanovakh@gmail.com

Ражабова Мамура Сапаровна, докторант (PhD), кафедра экология
Национальный университет Узбекистана
ул. Университетская, 4, г. Ташкент, 100174, Узбекистан
taturarajabova.com@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHORS

Kholiskhon A. Alimjanova, Doctor of Biological Sciences, Professor, Leading Researcher
Institute of Botany of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan
32, Durmonyuli Str., Tashkent, 100125, Uzbekistan
alimjanovakh@gmail.com

Mamura S. Rajabova, Doctoral Student (PhD), Department of Ecology
National University of Uzbekistan
4, Universitetskaya Str., Tashkent, 100174, Uzbekistan
taturarajabova.com@gmail.com

Поступила 21.07.2022

После рецензирования 29.08.2022, 20.09.2022

Принята 06.10.2022

Received 21.07.2022

Revised 29.08.2022, 20.09.2022

Accepted 06.10.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-100-122

УДК 630:57.042(292.471)



Научная статья | Прикладная экология

ОЦЕНКА ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ЛЕСАХ КРЫМА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЕРХОВЫХ И НИЗОВЫХ ПОЖАРОВ

В.Г. Кобечинская, О.Б. Ярош, В.Л. Апостолов

Приведены результаты исследований, выполненных с 2007 по 2020 гг по оценке эмиссии основных парниковых газов: углекислого, угарного, метана, закиси азота, моно- и диоксида азота, выделяющихся при верховых и низовых пожарах в лесах Республики Крым.

Целью работы являлась оценка эмиссии парниковых газов в результате пожаров по данным наземных исследований в лесах полуострова.

Материалы и методы. Объектами изучения были разновозрастные горельники сосновых лесопосадок и дубовых лесов в предгорной зоне (Симферопольское лесничество), а также сосновых и дубовых лесов Ялтинского горно-лесного природного заповедника, расположенного на Южном макросклоне Крымских гор. Рассчитаны весовые показатели для выбросов углерода при пожарах для древостоя, подлеска, подроста и подстилки с учетом конверсионных коэффициентов.

Результаты. Суммарные выбросы парниковых газов от пожаров разной интенсивности в предгорной зоне за этот период достигали 1575,6 т (9,87 т/га), а вклад углекислого газа в общий объем составил 6,1 т/га. В заповеднике суммарные выбросы составили 23227,8 т (20,98 т/га) и 12,8 т/га для углекислого газа. Эти показатели связаны с большим возрастом, полнотой и запасом древостоя. Вклад различных парниковых газов в общую эмиссию составил: 61,2% для углекислого газа, 28,5% для диоксида азота, 8,5% для угарного газа и менее 1,8% для метана и закиси азота в сумме.

Выводы. Используемый в работе метод расчета эмиссий парниковых газов, выделившихся при огневом воздействии на лесные экосистемы, можно рассматривать как инструментальный при детальной оценке объемов выбросов парниковых газов, образующихся при пожарах различной интенсивности.

Ключевые слова: интенсивность пожары; эмиссии; предгорные и горные леса; парниковые газы; Крым

Для цитирования. Кобечинская В.Г., Ярош О.Б., Апостолов В.Л. Оценка эмиссии парниковых газов в лесах Крыма при воздействии верховых и низовых пожаров // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №1. С. 100-122. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-100-122

Original article | Applied Ecology

ASSESSMENT OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN CRIMEAN FORESTS UNDER THE INFLUENCE OF CROWN AND SURFACE FIRES

V.G. Kobechinskaya, O.B. Yarosh, V.L. Apostolov

We present results of studies carried out from 2007 to 2020 on the assessment of the emission of the main greenhouse gases: carbon dioxide, carbon monoxide, methane, nitrous oxide, mono- and nitrogen dioxide, emitted during top and bottom fires in the forests of the Republic of Crimea.

The aim of the work was to monitor greenhouse gas emissions as a result of fires according to ground-based studies in the forests of the peninsula.

***Materials and methods.** The objects of study were uneven-aged burnt forests of pine plantations and oak forests in the foothill zone (Simferopol forestry), as well as pine and oak forests of the reserve located on the southern macroslope of the Crimean Mountains. The weight indicators of carbon emissions from fires for forest stand, undergrowth, undergrowth and litter are calculated taking into account conversion factors.*

***Results.** The total emissions of greenhouse gases from fires of different intensities in the foothill zone during this period reached 1575.6 t in (9.87 t/ha), and the contribution of carbon dioxide to the total volume was 6.1 t/ha. In the nature reserve, the total emissions were 23227.8 t in (20.98 t/ha) and 12.8 t/ha for carbon dioxide. These higher values are due to greater age, density and stock of the forest stand. The contributions of various greenhouse gases to the total emissions were: 61.2% for carbon dioxide, 28.5% for nitrogen dioxide, 8.5% for carbon monoxide, and less than 1.8% for methane and nitrous oxide in total.*

***Conclusions.** The method used in this study for calculating greenhouse gas emissions released during fire impact on forest ecosystems can be considered as a good toolkit for a detailed assessment of the amount of greenhouse gas emissions generated during fires of various intensities.*

Keywords: *intensity of fires; fire emissions; foothill and mountain forests; greenhouse gases; Crimea*

For citation. *Kobechinskaya V.G., Yarosh O.B., Apostopol V.L. Assessment of Greenhouse Gas Emissions in Crimean Forests under the Influence of Crown and Surface Fires. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 100-122. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-100-122*

Введение

Проблемы изменения климата являются одними из наиболее обсуждаемых в научной литературе. Однако, в настоящее время в мире нет общепризнанных единых систем учета эмиссии парниковых газов. В рамках Парижского соглашения 2015 г и Рамочной конвенции ООН об изменении климата предусмотрено, что каждое государство берет на себя обязательства по поводу разработки методик и предоставления данных по парниковым газам на национальном уровне, причем данный механизм имеет регуляторную природу.

Согласно Стратегии [14] предусматривается постепенное снижение уровня выбросов парниковых газов и Минобрнауки России разработал национальный план мероприятий на период до 2022 года путем создания сети «Полигонов для разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса» (приказ № 74 от 05.02.2021 г) с целью учета выбросов парниковых газов [14, 17].

В рамках создания карбоновых полигонов для разработки технологий мониторинга и анализа способности различных территорий к ассимиляции углерода из атмосферы будут осуществляться детальные наземные полевые исследования в сочетании с дистанционным спутниковым зондированием, что позволит разработать математические алгоритмы системы учета эмиссии парниковых газов и поглощения этих выбросов для различных климатических зон страны.

В настоящее время существуют разнообразные методики, позволяющие оценить прирост массы углерода в наземных частях древостоя по параметрам интенсивности фотосинтеза [10, 19]. Также используются данные лесостроительной информационной системы с использованием ГИС технологий и результатов наземной лесотаксации. Эти исследования основаны на моделях перехода от характеристик радиолокационного снимка к количественной оценке элементов фитомассы (стволов, ветвей, хвои или листьев) к расчету содержания в них углерода на основе вегетационных индексов (NDVI, EVI, BGNG, CWC, CN, LUR и пр.) [2, 6, 21, 22, 24, 25].

Наиболее полным является подход, включающий при учете общего количества углерода в лесах кроме древостоя, еще опад, подстилку и сухостой [18, 4]. По эмиссии парниковых газов, выделившихся при пожарах разной интенсивности, можно рассчитать аккумулированный углерод в лесных насаждениях различных государств [23].

При создании будущих карбоновых полигонов в количестве 80 единиц в России необходимо разработать адаптированные под климатические зоны методики учета парниковых газов. Одна из них, предложенная для юга России обсуждается в данной работе. Ее апробация проведена на основе исследования лесов Республики Крым.

Общая площадь лесов полуострова по состоянию на 1 января 2019 года составляет 333,9 тыс. га или 12,79% общей площади РК. В том числе, леса на землях лесного фонда, занимают 237,6 тыс. га, или 71,16% от их общей площади [9]. Согласно Лесному кодексу РФ, 2006 г, ст. 10 [8] по целевому назначению они относятся к защитным, которые выполняют средообразующие, водоохраные, санитарно-гигиенические, оздоровительные и иные полезные функции, эксплуатационных и резервных лесов в исследуемом регионе нет.

Главная проблема лесных экосистем полуострова – это пирогенный фактор разной интенсивности в результате антропогенного воздействия. Известно, что лесные компоненты обладают разной скоростью ответной реакции на внешнее огневое воздействие, что ведет к нарушению механизмов их адаптации и устойчивости. Так, при верховых пожарах происходит полная утрата существующих сообществ, а при низовых формируются экосистемы с упрощенной структурой, сокращаются площади коренных природных со-обществ, что ведет к дестабилизации их средообразующих и климаторегулирующих функций [16, 19, 20].

Целью работы являлась оценка эмиссии парниковых газов в результате пожаров по данным наземных исследований в лесах полуострова. В соответствии с ней были поставлены следующие задачи:

а) определить долю расходной части углеродного баланса по парниковым газам: метану, угарному газу, закиси азота, моно- и диоксида азота при выбросах их в результате пожаров для этих территорий;

в) оценить эмиссию основных парниковых газов, выделяющихся при пожарах разной интенсивности с учетом состава древостоя и его возраста в предгорных сосновых лесопосадках и природных дубравах, а также сосновых и дубовых лесах Южного макросклона Крымских гор в сравнительном аспекте.

Материалы и методы исследований

Растительный покров Горного Крыма разделяется на 7 поясов, три из которых приурочены к северному макросклону, три – к южному и один занимает плоскогорную вершину – яйлу [13].

Для комплексного понимания механизмов последствия воздействия пожаров разной интенсивности с учетом территориальной приуроченности объектами исследования были:

А) Предгорная зона полуострова (Симферопольское лесничество). Его географические координаты (широта, долгота): 44°58'37»N 34°9'49»E. Высоты северного макросклона нижнего предгорного пояса (до 300-400 м н.у.м.). Площадь искусственных посадок сосны крымской (*Pinus pallasiana* D.Don.) – 4408 га, дубовые леса из дуба пушистого (*Quercus pubescens* Willd.) – 17593,5 га и дуба скального (*Quercus petraea* Liebl.) – 2204,7 га. Всего лесопокрытая площадь для данного лесничества составляет 39247 га. В исследуемой зоне наблюдается высокая интенсивность пожаров из-за близости этих лесных массивов к городской застройке.

Б) На Южном макросклоне Крымских гор (ЮМКГ) расположен Ялтинский горно-лесной природный заповедник (ЯГЛПЗ), Географические координаты (широта, долгота): 44°31'57»N 34°11'19»E. Леса приурочены к среднему лесному поясу (от 400 до 900 м н.у.м.). Общая площадь ЯГЛПЗ – 14523 га, причем лесопокрытая площадь достигает 73,4%. Род сосны (*Pinus*) представлен тремя видами: сосна Коха (*Pinus kochiana* Klotzsch ex K.Koch), сосна крымская (*Pinus pallasiana* D.Don.) и сосна Станкевича (*Pinus stankewiczii* (Sukacz.) Fomin), которые в совокупности произрастают от всей территории на 58,1% (6194,1 га). Площади, занимаемые дубом пушистым и дубом скальным существенно меньше, в сумме они занимают – 2689,6 га (25,2%) [13]. У данного заповедника отсутствует буферная зона. К его южнобережной границе прилегают курортные поселки Большой Ялты, а также по территории ЯГЛПЗ проходит ряд крупных автомобильных дорог и туристических маршрутов.

Наряду с материалами лесотаксации объектов изучения также использовались показатели, полученные на 30 пробных площадях, на которых осуществлялся мониторинг по лесовозобновлению после пожаров на протяжении 14 лет исследований (2007-2020 гг). При выборе пробной площади учитывалось, чтобы в составе древостоя доля главной породы была не меньше 9 баллов для этих фитоценозов.

Использовалась методология оценки углерода, депонированного в лесных экосистемах, которая была разработана Атрошенко и др. [1, 2]. Ряд

этих расчетных коэффициентов применен в данном исследовании для крымских лесов, как расположенных в близкой климатической зоне в части расчета расходной части углеродного баланса по углекислому газу и другим парниковым газам при выбросах их в результате пожаров.

Исследовательский алгоритм состоял из следующих этапов:

1. Расчёт содержания углерода в одиночных деревьях на основе фиксированного значения полноты насаждений на основе расчетных соотношений, приведенных в таблице 1.

Таблица 1.

Расчётные уравнения для определения содержания углерода по фракциям в сосновых и дубовых лесах, а также сосновых лесопосадок

| № формулы | Компоненты | Формулы |
|-----------|------------------|--|
| 1 | Для кроны сосны | $(0,05 \cdot k_1 \cdot \text{КАН}^{k_2} \cdot \text{КАР}^{k_3} \cdot \text{КАМГ} \cdot \text{КАСС}) \cdot r_1 \cdot S$ |
| 2 | Для ствола сосны | $(0,5 \cdot k_1 \cdot \text{КАН}^{k_2} \cdot (1 - 0,5 \cdot \text{КАР}) \cdot \text{КАР}^{k_3}) \cdot r_1 \cdot S$ |
| 3 | Для кроны дуба | $(0,05 \cdot k_1 \cdot \text{КАА}^{k_2} \cdot \text{КАР}^{k_3} \cdot \text{КАМГ} \cdot \text{КАСС}) \cdot r_2 \cdot S$ |
| 4 | Для ствола дуба | $(0,5 \cdot k_1 \cdot \text{КАН}^{k_2} \cdot (1 - 0,5 \cdot \text{КАР}) \cdot \text{КАР}^{k_3}) \cdot r_2 \cdot S$ |
| 5 | Для подростка | $k_1 \cdot k_2 \cdot \text{КАД} \cdot e^{k \cdot \text{КАН}} \cdot r_{10} \cdot S$ |
| 6 | Для подлеска | $0,45 (2,561 \cdot \text{КАР} - 1,311 \cdot \text{КАР}^2 - 0,0263) \cdot k \cdot r_9 \cdot S$ |
| 7 | Для подстилки | $k_1 \cdot (k_2 \cdot \text{КАА}^2 + k_3 \cdot \text{КАА} + k_4) \cdot \text{КАР}^{1,2} \cdot r_{10} \cdot S$ |

Примечание: КАН – высота, КАР – полнота, КАМГ – запас м^3 на 1 га, КАСС – коэффициент состава, КАА – возраст, КАД – диаметр, см, S – площадь выдела.

Источник: [1, 5]

2. Составление таблиц для расчета углерода, депонированного в дубовых и сосновых насаждениях, занимающих наибольшие площади в этих объектах на основе конверсионных коэффициентов k_1, k_2, k_3, k_4 и r_1, r_2, r_9, r_{10} , полученных расчетным путем [12] для дубовых и сосновых лесов, а также сосновых лесопосадок (табл. 2).

Существенное влияние на развитие подростка оказывают сомкнутость древостоя, его возраст и условия произрастания. Для средневозрастных, приспевающих и спелых сосновых и дубовых насаждений коэффициенты для расчета массы углерода по формуле № 6 для подлеска из таблицы № 1 по данным [1, 2] сходны и составляют соответственно 0,6, 0,65 и 0,7, только у молодняков: для сосны – 0,5, для дуба – 0,45.

Таким образом, общая масса углерода, депонированная в изученных сосновых и дубовых сообществах Крыма, является суммой всех рассчитанных слагаемых, хотя она несколько ниже, так как мы не учитывали корни и почву.

Таблица 2.

**Коэффициенты для расчета массы углерода во фракциях древостоя,
подроста, подстилки сосны и дуба**

| Порода | Фракция | № формулы | k_1 | k_2 | k_3 | k_4 |
|--------|-----------|-----------|-------|----------|--------|-------|
| Сосна | Крона | 1 | 0,346 | -0,793 | -0,705 | - |
| Сосна | Ствол | 2 | 5,701 | 1,464 | 1,525 | - |
| Сосна | Подрост | 5 | 0,45 | 0,00077 | 0,534 | - |
| Сосна | Подстилка | 7 | 0,48 | -0,003 | 0,51 | 0,63 |
| Дуб | Крона | 3 | 0,265 | -0,254 | -0,128 | - |
| Дуб | Ствол | 4 | 0,385 | 0,06 | 0,11 | - |
| Дуб | Подрост | 5 | 0,6 | 0,000497 | 0,515 | - |
| Дуб | Подстилка | 7 | 0,42 | -0,0012 | 0,24 | 0,25 |

Источник: [1, 5]

- При пожарах выбрасываются не только двуокись углерода, но и другие парниковые газы: метан (CH_4), монооксид углерода (CO), закись азота (N_2O), диоксид азота (NO_2) и пары воды. Метан и монооксид углерода оцениваются как доли потока углерода, высвобождаемого при горении [3]. Общее содержание азота рассчитывалось с помощью соотношения азот/углерод в сухой массе (типичное значение отношения 0,01) по Руководству МГЭИК для составления общенациональных кадастров газов с парниковым эффектом [15]. Закись азота и диоксид азота оцениваются как доли общего потока этого азота. Приводим пересчетные коэффициенты выбросов парниковых газов при горении биомассы согласно данному Руководству [15]: CH_4 – 0,012; CO- 0,06; N_2O - 0,007; NO_2 - 0,121.
- Расчет выбросов метана и монооксида углерода (все выражено в единицах углерода) осуществлялся на основе количества высвобождаемого углерода согласно Руководству МГЭИК [15], который умножается на пропорции выбросов для метана и монооксида углерода. Для перерасчета на полный молекулярный вес выбросы метана и монооксида углерода умножаются соответственно на 16/12 и 28/12. Для оценки выбросов закиси азота и диоксида азота количество высвобождаемого углерода умножалось на 0,01 для получения общего количества освобожденного азота (N), затем это количество азота умножалось на пропорции выбросов закиси азота и диоксида азота (выражено в единицах азота). Для перерасчета на полный молекулярный вес выбросы закиси азота и диоксида азота соответственно умножались на 44/28 и 46/14. Окончательные расчеты выбросов газов при пожарах проводятся по формулам (1):

$$\begin{aligned} QCH_4 &= A \times B \times 16/12 \\ QCO &= A \times B \times 28/12 \\ QN_2O &= A \times B \times D \times 44/28 \\ QNO_2 &= A \times B \times D \times 46/14, \end{aligned} \quad (1)$$

где – выбросы парниковых газов; – освобожденный углерод; – пропорция выбросов; D – отношение N/C.

Полученные результаты обрабатывались методами вариационной статистики. Также были выполнены анализ корреляционных взаимосвязей методом парной корреляции по Пирсону и регрессионный анализ с расчетом коэффициента множественной детерминации между анализируемыми показателями в данной работе. Статистическая значимость различий в каждой выборке оценена по t-критерию Стьюдента ($p < 0,05$) [7].

Результаты исследований и их обсуждение

Сосновые леса полуострова как искусственные, так и природные насаждения, являются ведущими среди других пород, как по объему возгораний, так и по площадям, пройденных огнём. Чаще всего пожары приходится на летне-осенний период, который характеризуется длительным периодом высоких температур воздуха и очень низкой влажностью. Из-за отсутствия осадков, устойчивых ветровых потоков в горах происходит высушивание приземного слоя опада и подстилки, таким образом, происходит повышение запасов горючих материалов.

За период 1991-2020 гг. в Крыму было зарегистрировано 3160 лесных пожаров. Общая площадь гарей в регионе составляет 4199,23 га, в том числе горельников после верховых пожаров – 631,2 га.

Анализ материалов лесоквартального учета многолетней динамики (2007-2020 гг) горельников для участковых лесничеств Симферопольского лесничества выявил, что за этот период зафиксировано 337 случаев пожаров, причем самые высокие показатели их количества пришлось на 2007, 2008 и 2015 гг., в среднем по 30 случаев в год. Верховые пожары в молодых посадках сосны были по размеру сравнительно незначительны – всего 9,62 га, самая большая площадь их полного уничтожения – 2,73 га была в 2016 г, в остальные годы их быстро локализовали и площади гарей колебались от 0,05 до 2,4 га. Для лиственных лесов эта площадь несколько выше – 11,1 га, самый значимый массив верхового пожара для дуба пушистого был в 2016 г – 10,27 г, в остальные годы пожары были быстро локализованы и минимальны по размерам (0,01-0,7 га). Всего огнем разной интенсивности было пройдено 159,67 га, что

составило всего 0,41% от общей площади (39,3 тыс. га) Симферопольского лесничества.

Распределение пожаров по территориям участковых лесничеств крайне неравномерно. Наибольшее число возгораний отмечалось в Лесопарковом участковом лесничестве, непосредственно примыкающего к черте города Симферополь, имеющим наибольшие площади искусственных сосновых насаждений (3132 га), их доля составила 87% от общего числа гарей. В остальных – Перевальном, Пионерском и Партизанском участковых лесничествах их величина незначительна, так как в этом районе произрастают преимущественно пушисто-дубово-грабинниковые леса, но имеются и небольшие искусственные сосновые насаждения. В Красногорском и Межгорском участковых лесничествах пожаров за изученный период не было. Определяющими факторами возникновения пожаров являются как тип леса, так и поведение туристов, не соблюдающих правила пожарной безопасности, а также отсутствие в этом районе оборудованных стоянок. Но благодаря близости к городу, локализация огня осуществляется соответствующими службами достаточно быстро, поэтому относительная площадь гарей сравнительно мала.

В табл. 3 приводятся показатели выбросов углерода для сосны и дуба всего Симферопольского лесничества без дифференциации по участковым лесничествам при верховых пожарах.

Суммарные выбросы углерода в составе углекислого газа в Симферопольском лесничестве за период исследований от верховых пожаров составили $504,0 \pm 40,32$ т, что в пересчете на 1 га – 24,32 т со значительными колебаниями по годам без разделения по видам древостоя. В 2020 г верховых пожаров на этой территории не было, поэтому в таблице 4 приводятся только данные по 2019 г. Вклад в выбросы углерода при горении дубрав из-за малых площадей крайне незначительны по годам (7,68 т), за исключением большого пожара в 2016 г, когда эмиссии достигли $400,53 \pm 24,03$ т. Вклад сосновых молодых насаждений низок, достигая в сумме всего 95,8 т, т.е. 19,1% от общего объема эмиссий углерода.

По видовому составу при верховых пожарах видна следующая закономерность: вклад дуба – 19,62 т/га с колебанием по возрасту 45-60 лет, для сосны – 9,96 т/га с возрастным спектром 5-40 лет. Таким образом, широколиственные породы почти в два раза дают больше выбросов, чем хвойные, однако, можно предположить, что определяющий фактор – это возраст древостоя (КАА), его полнота (КАР) и запас (КАМГ) на учетной площади. Анализ корреляционных взаимосвязей методом парной корреляции по

Пирсону показал высокий уровень взаимосвязи $R=0,70$ между возрастом древостоя сосны и выбросом углерода, также обнаружена высокая корреляция между полнотой насаждений дуба $R=0,79$ и эмиссией углерода.

Таблица 3.

Расчёт выбросов по углероду из фракции древостой при верховых пожарах Симферопольского лесничества для дубовых лесов и сосновых лесопосадок по учётам с 2007 по 2019 гг в т $CO_{2-экв}$.

| Год | Порода | КАА | КАР | КАМГ | КАСС | Площадь горельников, га | Суммарный выброс углерода, т $CO_{2-экв}$. |
|-------|--------|-----|------|------|------|-------------------------|---|
| 2007 | Сосна | 30 | 0,4 | 80 | 10 | 2,4 | 33,29±2,33 |
| 2008 | Дуб | 60 | 0,6 | 100 | 10 | 0,03 | 1,16±0,01 |
| 2008 | Сосна | 38 | 0,5 | 90 | 10 | 2,55 | 35,37±2,48 |
| 2009 | Дуб | 50 | 0,55 | 85 | 10 | 0,01 | 0,19±0,01 |
| 2009 | Сосна | 15 | 0,2 | 7 | 10 | 0,14 | 0,17±0,01 |
| 2011 | Сосна | 5 | 0,1 | 3 | 10 | 0,05 | 0,03±0,002 |
| 2013 | Дуб | 45 | 0,5 | 70 | 10 | 0,7 | 2,66±0,19 |
| 2013 | Сосна | 35 | 0,4 | 85 | 10 | 1,2 | 16,6±1,32 |
| 2014 | Сосна | 10 | 0,2 | 6 | 10 | 0,05 | 0,07±0,01 |
| 2015 | Дуб | 50 | 0,6 | 85 | 10 | 0,01 | 0,19±0,01 |
| 2015 | Сосна | 40 | 0,6 | 95 | 10 | 0,5 | 6,94±0,56 |
| 2016 | Дуб | 60 | 0,7 | 110 | 10 | 10,27 | 400,53±24,03 |
| 2016 | Сосна | 15 | 0,2 | 6,5 | 10 | 2,73 | 3,32±0,17 |
| 2019 | Дуб | 60 | 0,6 | 95 | 10 | 0,09 | 3,48±0,17 |
| Всего | | | | | | 20,72 | 504,0±40,32 |

Примечание: КАА – возраст древостоя; КАР – полнота насаждения; КАМГ – запас m^3 на га; КАСС – коэффициент состава; S – площадь горельника.

Результаты регрессионного анализа, где в качестве независимых переменных выступали показатели КАА, КАР, КАМГ, а зависимой был определен выброс углерода, показали, что 67% вклада в выбросы углерода в сосновых насаждениях обусловлено влиянием КАА, КАР, КАМГ (коэффициент множественной детерминации $R^2=0,67$). В дубовых насаждениях данный вклад ещё выше (коэффициент множественной детерминации $R^2=0,75$), на уровне значимости $p<0,05$. Полученные результаты позволяют статистически подтвердить поставленную в данной работе исследовательскую гипотезу о тесной связи объемов выбросов углекислого газа при пожарах и возраста древостоев.

Динамика выбросов углерода в составе углекислого газа в Симферопольском лесничестве при низовых пожарах отражена в табл. 4.

Таблица 4.

Выброс углерода по фракциям в лесах Симферопольского лесничества при низовых пожарах с 2007 по 2020 гг в т $\text{CO}_{2\text{-экв}}$.

| Год | Порода | Подстилка M_{C_2} | Подлесок M_{C_3} | Подрост M_{C_4} | Сумма $\sum M_i$, углерода | Площадь, га |
|-------|--------|------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------------|----------------|
| 2007 | Дуб | 15,25±0,91 | 0,63±0,01 | 2,10±0,13 | 17,98±1,26 | 8,33 |
| 2007 | Сосна | 16,03±1,12 | 0,15±0,01 | 0,49±0,02 | 16,67±1,0 | 1,98 |
| 2008 | Дуб | 8,84±0,44 | 0,31±0,01 | 0,92±0,05 | 10,07±0,5 | 4,43 |
| 2008 | Сосна | 20,91±1,46 | 0,52±0,02 | 1,98±0,12 | 23,41±1,64 | 7,35 |
| 2009 | Дуб | 3,77±0,15 | 0,09±0,002 | 0,48±0,02 | 4,34±0,17 | 2,15 |
| 2009 | Сосна | 14,75±0,88 | 0,13±0,004 | 0,87±0,05 | 15,75±1,10 | 3,20 |
| 2010 | Дуб | 7,78±0,31 | 0,47±0,02 | 0,19±0,01 | 8,44±0,51 | 1,85 |
| 2010 | Сосна | 16,66±1,17 | 0,81±0,02 | 0,79±0,05 | 18,26±1,2 | 3,12 |
| 2011 | Дуб | 3,04±0,1 | 0,09±0,001 | 0,42±0,02 | 3,55±1,17 | 2,15 |
| 2011 | Сосна | 27,42±1,92 | 0,24±0,01 | 1,48±0,01 | 29,14±2,04 | 5,95 |
| 2012 | Дуб | 2,71±0,14 | 0,02±0,001 | 0,33±0,01 | 3,06±0,18 | 1,25 |
| 2012 | Сосна | 18,53±1,29 | 0,40±0,02 | 1,37±0,07 | 20,30±1,22 | 5,22 |
| 2013 | Дуб | 7,96±0,32 | 0,29±0,01 | 0,84±0,05 | 9,09±0,45 | 4,05 |
| 2013 | Сосна | 22,50±1,80 | 0,45±0,02 | 1,71±0,12 | 24,66±1,97 | 6,34 |
| 2014 | Дуб | 4,30±0,21 | 0,22±0,01 | 0,51±0,02 | 5,03±0,25 | 2,45 |
| 2014 | Сосна | 29,54±2,66 | 0,59±0,04 | 1,40±0,07 | 31,53±2,21 | 8,32 |
| 2015 | Дуб | 11,29±0,79 | 0,40±0,02 | 0,96±0,05 | 12,65±1,01 | 5,21 |
| 2015 | Сосна | 22,01±1,76 | 0,44±0,02 | 1,54±0,1 | 23,99±1,44 | 6,20 |
| 2016 | Дуб | 7,86±0,47 | 0,17±0,01 | 0,20±0,01 | 8,23±0,32 | 1,87 |
| 2016 | Сосна | 18,86±1,51 | 0,38±0,02 | 1,50±0,1 | 20,74±1,04 | 5,31 |
| 2017 | Дуб | 8,62±0,43 | 0,09±0,01 | 0,45±0,02 | 9,16±0,55 | 2,05 |
| 2017 | Сосна | 17,74±1,42 | 0,35±0,02 | 1,04±0,06 | 19,13±1,34 | 3,85 |
| 2018 | Дуб | 10,72±0,75 | 0,19±0,01 | 0,57±0,03 | 11,48±0,69 | 2,55 |
| 2018 | Сосна | 18,67±1,68 | 0,31±0,02 | 1,07±0,07 | 20,05±1,20 | 4,05 |
| 2019 | Дуб | 49,17±4,43 | 1,73±0,10 | 4,22±0,30 | 55,12±4,96 | 22,69 |
| 2020 | Дуб | 36,91±2,95 | 1,29±0,05 | 3,17±0,25 | 41,37±2,89 | 17,03 |
| Всего | – | 421,84±33,75 | 10,76±0,86 | 30,60±2,14 | 463,22±37,06 | 138,95 |

Выбросы углерода в сумме от низовых пожаров без разделений на фракции за годы анализа составили 463,22±37,06 т, причем почти 64,17% эмиссий пришлось на 2007-2008, 2011, 2013, 2015, 2019-2020 гг. – наибольшее количество.

лее вододефицитные и высокотемпературные в летний период по многолетним метеонаблюдениям. Анализ роли каждой из фракций при низовом пожаре выявил, что именно подстилка продуцирует 91,1% от общего объема эмиссий углерода, вклад подроста и подлеска крайне незначительны. Выявлено, что вклад в общую эмиссию выбросов углерода фракции подстилки дуба – 2,29 т/га, существенно выше вклад сосны – 4,06 т/га.

Полученные результаты нами обобщены и представлены в виде сводной таблицы 5 по Симферопольскому лесничеству без разделения по видам древостоя, но с учетом фракционного состава этих лесных сообществ, что позволило оценить суммарные выбросы углерода в составе углекислого газа в разногодичной динамике в $\text{CO}_{2\text{-ЭКВ}}$.

Таблица 5.

Выбросы углерода в составе углекислого газа при верховых и низовых пожарах в Симферопольском лесничестве по фракциям без разделения по видовому составу древостоя с 2007 по 2020 гг, т в $\text{CO}_{2\text{-ЭКВ}}$.

| Год | Древостой M_{c1} | Подстилка M_{c2} | Подлесок M_{c3} | Подрост M_{c4} | Сумма $\sum M_i$ | Общая площадь горельни- ков, га |
|-------|-----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|--|
| 2007 | 33,29±2,33 | 31,28±1,01 | 0,78±0,04 | 2,59±0,13 | 67,94±3,40 | 12,71 |
| 2008 | 36,53±1,24 | 29,75±0,95 | 0,83±0,03 | 2,90±0,20 | 70,01±4,20 | 14,36 |
| 2009 | 0,36±0,01 | 18,52±0,51 | 0,22±0,01 | 1,35±0,1 | 20,45±0,81 | 5,49 |
| 2010 | нет | 24,44±0,74 | 1,28±0,08 | 0,98±0,06 | 26,7±1,60 | 4,97 |
| 2011 | 0,03±0,002 | 30,46±0,40 | 0,33±0,02 | 1,90±0,13 | 32,72±1,96 | 8,15 |
| 2012 | нет | 21,24±0,72 | 0,42±0,03 | 1,71±0,1 | 23,37±1,40 | 6,47 |
| 2013 | 19,26±0,76 | 30,47±0,56 | 0,74±0,04 | 2,55±0,18 | 53,02±3,64 | 12,29 |
| 2014 | 0,07±0,01 | 33,84±1,28 | 0,81±0,05 | 1,91±0,13 | 36,63±2,20 | 10,82 |
| 2015 | 7,13±0,28 | 33,30±1,28 | 0,84±0,04 | 2,51±0,15 | 43,51±3,05 | 11,92 |
| 2016 | 403,85±12,1 | 26,72±0,99 | 0,55±0,02 | 1,69±0,12 | 432,8±36,95 | 20,18 |
| 2017 | нет | 26,36±0,92 | 0,44±0,02 | 1,50±0,1 | 28,30±1,70 | 5,9 |
| 2018 | нет | 29,39 ± 1,21 | 0,50 ± 0,03 | 1,64 ± 0,12 | 31,53 ± 2,21 | 6,6 |
| 2019 | 3,48±0,17 | 49,18±4,43 | 1,72±0,12 | 4,22±0,34 | 55,12±3,86 | 22,78 |
| 2020 | нет | 36,91±2,95 | 1,29±0,08 | 3,17±0,19 | 41,37±2,90 | 17,03 |
| Итого | 504,0±40,32 | 421,84±33,75 | 10,75±0,86 | 30,62±1,83 | 963,75±77,1 | 159,67 |

В атмосферу было выброшено за 14-летний период наблюдений при сгорании биомассы в сосновых лесопосадках и природных дубравах Симферопольского лесничества в сумме по всем фракциям без разделения по видовому составу древостоя – 963,75±77,1 т углерода в $\text{CO}_{2\text{-ЭКВ}}$. Следует

отметить по вкладу его эмиссий с учетом породного состава насаждений в пересчете на га: молодые посадки сосны внесли в сумме – $5,2 \pm 0,3$ т/га, средневозрастные дубравы – $10,3 \pm 0,62$ т/га соответственно. Таким образом, в целом средняя эмиссия углерода в составе углекислого газа в предгорной зоне за годы исследований составила $7,75 \pm 0,62$ т/га углерода, причем именно сгоревший древесиной дает 52,3%. Выбросы в результате низового пожара от горения подстилки в сумме достигают $421,8 \pm 33,75$ т углерода в $\text{CO}_{2\text{-ЭКВ}}$, что в пересчете 2,6 т/га. Объемы сгоревшего подлеска и подроста сравнительно низкие – в сумме $41,4 \pm 1,34$ т углерода в $\text{CO}_{2\text{-ЭКВ}}$, то есть 0,3 т/га. Поэтому именно древесиной и подстилка с учетом интенсивности огневого воздействия на сообщества продуцируют при горении в целом 96,1% от общего объема эмиссий углерода.

В ЯГЛПЗ имеются большие площади естественных сосновых массивов и этот фактор обуславливает высокую частоту возникновения здесь пожаров. Так, с 1991 по 2020 г зафиксировано 1007 случаев возгораний на лесопокрытых площадях. В общей сложности пройдено пожарами 3847,0 га заповедной территории, в том числе 448,2 га – это верховые пожары с полным уничтожением лесного покрова. Доля количества крупных пожаров в целом незначительна (3,1%), но на них приходится до 95,5% от всех поврежденных огнем площадей. Самые значимые были в 1993 г – сгорело 459 га, в том числе от верхового погибло 44,3 га старовозрастных сосновых лесов и в 2007 г, когда пожар охватил 1002,35 га, в том числе площадь верхового составила – 336,3 га. Это был самый крупный пожар послевоенного периода.

Верховые пожары в ЯГЛПЗ были только в 2007, 2008, 2012 и 2020 годах. Суммарный объем выбросов углерода, накопленного в древесное ЯГЛПЗ от верховых пожаров за 14 лет по нашим опубликованным данным достигал – $9406,8 \pm 8,47$ т в $\text{CO}_{2\text{-ЭКВ}}$ с общей площади 340,1 га [5]. С учетом состава лесного массива соответственно: вклад дубрав оценивался на уровне 28,76 т/га, сосны – 11,22 т/га. В пересчете на 1 га в сумме эти выбросы углерода при верховых пожарах в заповеднике составили в среднем $19,99 \pm 1,20$ т. Сравнительный анализ вклада выбросов углерода при пожарах по фракциям четко выявляет, что именно в древесное накоплено самое высокое его количество – 66,4%, второе место занимает сгоревшая подстилка – 31,98%, достигая в сумме на Южном макросклоне Крымских гор – 98,4%, вклад остальных фракций крайне незначителен. Следовательно, с учетом возраста насаждений, вклад по выбросам углерода в результате пожаров разной интенсивности в природных фитоценозах заповедника

почти в 2,6 раза выше, чем в лесопосадках и природных лесах предгорной зоны. Объемы эмиссии углерода от сгоревшей подстилки достигают 4537,2 т в $\text{CO}_{2-ЭКВ}$, что составляет в среднем – 4,2 т/га, причем вклад от сгоревшего дуба пушистого выше, чем сосны крымской.

Исходя из данных по выбросу углерода в Симферопольском лесничестве и в ЯГЛПЗ [5], нами проведены расчеты и выявлены объемы выбрасываемых также и остальных парниковых газов: метана (CH_4), монооксида углерода (CO), закиси азота (N_2O) и диоксида азота (NO_2) согласно изложенной выше методике для обоих географических зон Крыма на исследуемых площадях по годам. Результаты данного исследования представлены на рисунках 1-4.

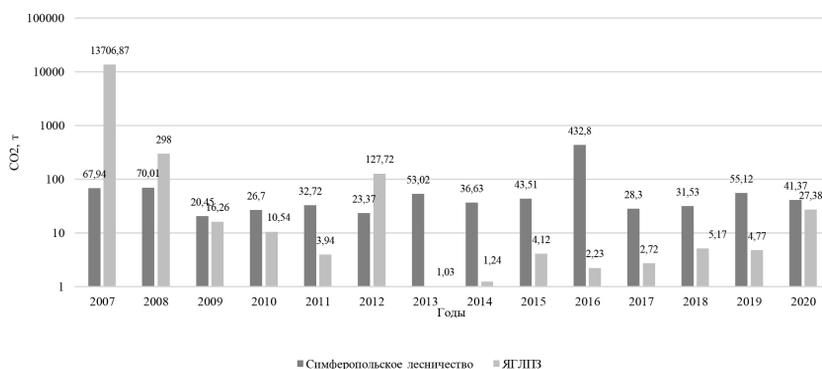


Рис. 1. Эмиссия углекислого газа с 2007 по 2020 гг в Симферопольском лесничестве и Ялтинском горно-лесном природном заповеднике после верховых и низовых пожаров без разделения по видовому составу древостоя, т в $\text{CO}_{2-ЭКВ}$

Суммарные выбросы парниковых газов от пожаров разной интенсивности в предгорной зоне за годы исследований, по нашим расчетам, составили $1575,6 \pm 24,88$ т в $\text{CO}_{2-ЭКВ}$, что в пересчете – 9,87 т/га, при этом вклад углекислого газа в общем объеме достигает 61,2 %, (6,1 т/га). С учетом возраста, полноты и запаса насаждений природных фитоценозов сосновых и дубовых лесов на Южном макросклоне Крымских гор суммарные объемы эмиссий парниковых газов более значительны – $23227,82 \pm 271,92$ т в $\text{CO}_{2-ЭКВ}$, что в пересчете – 20,98 т/га, т.е. в 2,12 раза выше, чем в предгорной зоне. Углекислый газ также является ведущим среди изученных компонентов эмиссий при горении, составляя – 61,18% (12,83 т/га). По весовым величинам выбросы диоксида азота занимают второе место после углекислого газа. В предгорной зоне они меньше суммарно – $448,42 \pm 35,87$ т в $\text{CO}_{2-ЭКВ}$

на 159,67 га, на Южном макросклоне Крымских гор достигают – 6619,01±463,33 т в $\text{CO}_{2-\text{ЭКВ}}$ на общей площади – 1427,23 га. Такие различия в значениях определяются разностью общих площадей гарей, т.к. в ЯГЛПЗ их почти в 9 раз больше. В пересчете на единицу площади соответственно – 2,8 т/га и 4,64 т/га.

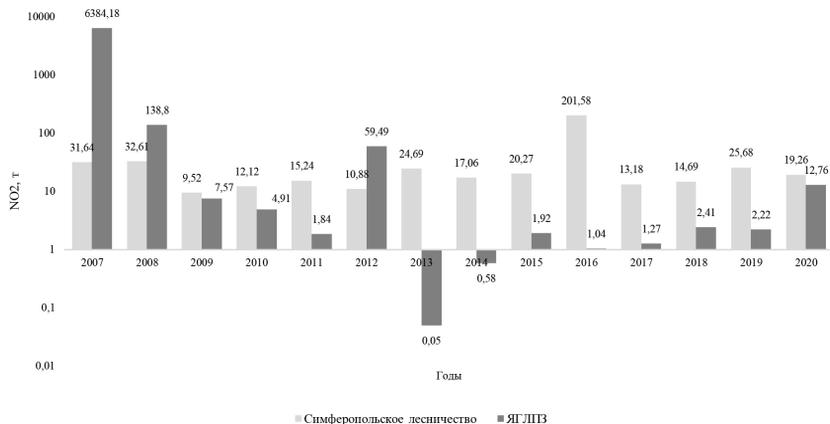


Рис. 2. Эмиссия диоксида азота с 2007 по 2020 гг в Симферопольском лесничестве и Ялтинском горно-лесном природном заповеднике после верховых и низовых пожаров без разделения по видовому составу древостоя, т в $\text{CO}_{2-\text{ЭКВ}}$

В процентном же соотношении по выбросам парниковых газов объемы диоксида азота на сравниваемых территориях – 28,46 - 28,49% практически совпадают.

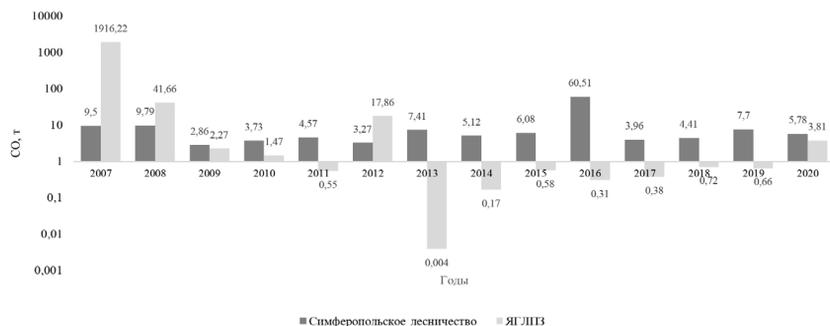


Рис. 3. Эмиссия угарного газа с 2007 по 2020 гг в Симферопольском лесничестве и Ялтинском горно-лесном природном заповеднике после верховых и низовых пожаров без разделения по видовому составу древостоя, т в $\text{CO}_{2-\text{ЭКВ}}$

Угарный газ по объемам выбросов при пожарах среди парниковых газов занимает третье место – в Симферопольском лесничестве - $134,69 \pm 9,43$ т в $\text{CO}_{2\text{-ЭКВ}}$, в ЯГЛПЗ – $1986,66 \pm 153,29$ т в $\text{CO}_{2\text{-ЭКВ}}$. В пересчете на единицу площади – соответственно $0,84$ т/га и $1,39$ т/га. В процентных отношениях эти показатели достигают – $8,55\%$, т.е. они одинаковые.

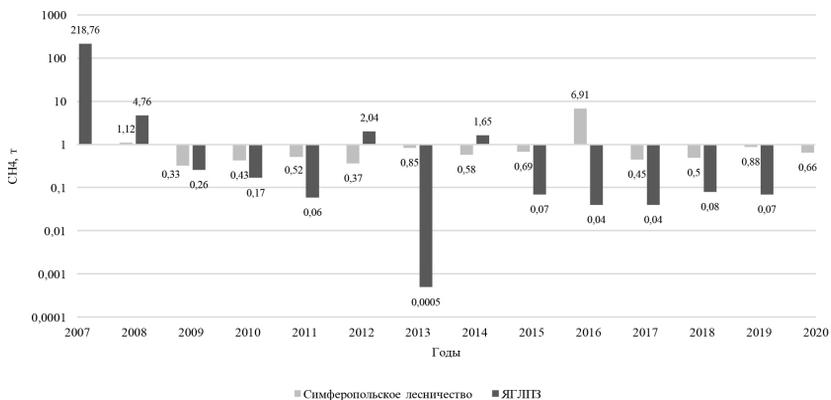


Рис. 4. Эмиссия метана с 2007 по 2020 гг в Симферопольском лесничестве и Ялтинском горно-лесном природном заповеднике после верховых и низовых пожаров без разделения по видовому составу древостоя, т в $\text{CO}_{2\text{-ЭКВ}}$

Вклад метана крайне незначителен. В Симферопольском лесничестве суммарно – $15,37 \pm 1,08$ т в $\text{CO}_{2\text{-ЭКВ}}$, в ЯГЛПЗ – $228,4 \pm 15,99$ т в $\text{CO}_{2\text{-ЭКВ}}$. При расчете на единицу площади соответственно – $0,1$ т/га и $0,16$ т/га, т.е. очень близки. В процентном отношении среди остальных парниковых газов его величина достигает – $0,98\%$ на обоих территориях. Эмиссия азота среди изученных парниковых газов самая низкая. В предгорной зоне она составила $13,38 \pm 0,93$ т в $\text{CO}_{2\text{-ЭКВ}}$, а на Южном макросклоне Крымских гор – $182,76 \pm 16,45$ т в $\text{CO}_{2\text{-ЭКВ}}$. В пересчете на единицу площади соответственно – $0,1$ т/га и $0,13$ т/га. В процентном отношении эта величина очень мала – всего $0,80\text{--}0,83\%$. Пропорции соотношений этих компонентов практически сходны на обоих объектах изучения. Это связано с тем, что все расчеты по количеству выбросов парниковых газов ведутся от содержания углерода.

Пожары в лесах, прилегающих к курортным поселкам южного берега Крыма оказывают крайне негативное воздействие на воздушный бассейн, разрушая природные экосистемы и резко ухудшая среду отдыха в летний период с учетом токсичности этих компонентов. Высокотемпературные

эмиссии парниковых газов способствуют снижению выпадения осадков [11]. Активизируются процессы иссушения приземного слоя почв, что нарушает водообеспеченность древостоя, усиливаются высушивание подстилки и веточного опада. При близости лесов к курортной зоне это создает условия для возникновения новых пожаров и дестабилизации природных заповедных территорий с утратой их климаторегулирующих, почвозащитных и водоохраных функций.

Выводы

Результаты исследования могут быть использованы в дальнейшем при составлении различных методик учета парниковых газов по данным наземных исследований в рамках создания карбоновых полигонов соответствующих климатических зон.

1. Выявлено, что общий объем парниковых эмиссий оценивается в предгорной зоне – $1575,6 \pm 24,88$ т $\text{CO}_{2\text{-ЭКВ}}$ т или 9,9 т/га, на Южном макросклоне Крымских гор – $23227,8 \pm 271,92$ т в $\text{CO}_{2\text{-ЭКВ}}$ т, или 20,98 т /га, то есть почти в 2,12 раза выше. Это связано с большим возрастом, полнотой и запасом древостоя. Ведущим компонентом парниковых газов при пожарах в Крыму независимо от зоны исследований является углекислый газ – в среднем 61,2%, в убывающем порядке идут выбросы диоксида азота – 28,48%, далее следует угарный газ – 8,55%, вклады метана и закиси азота незначительны (в сумме – 1,78-1,81%).

2. Показан вклад эмиссии углерода в составе углекислого газа с учетом породного состава насаждений в Симферопольском лесничестве в пересчете на 1 га. Молодые посадки сосны продуцируют $5,2 \pm 0,3$ т/га, средневозрастные дубравы – $10,3 \pm 0,62$ т/га соответственно, что в сумме в среднем за годы исследований составляет $7,75 \pm 0,62$ т/га. В ЯГЛПЗ с учетом состава лесного массива вклад дубрав в эмиссию – 28,8 т/га, сосны – 11,2т/га. В пересчете на 1 га без дифференциации по видовому составу лесов выбросы углерода составили в среднем $19,99 \pm 1,20$ т/га. Следовательно, с учетом возраста насаждений вклад по выбросам углерода в составе углекислого газа в результате пожаров разной интенсивности в природных фитоценозах заповедника почти в 2,6 раза выше, чем в искусственных и природных лесах предгорной зоны.

3. Анализ соотношений в каждой из фракций выявил, что именно сгоревший древостой и подстилка в предгорной зоне дают 96,1% от общего объема эмиссии углерода, а на Южном макросклоне Крымских гор этот показатель еще выше – 98,35%, вклад подроста и подлеска крайне незначительны. Установлено, что в общую эмиссию выбросов углерода фрак-

ции подстилки дуба продуцируют – 3,07 т/га, несколько выше сосна – 4,06 т/га для предгорья, в южнобережных фитоценозах эта тенденция сохраняется и составляет для дуба – 3,4 т/га, а для сосны – 4,8 т/га.

Список литературы

1. Атрошенко Л.М., Горобец В.Н., Горобец Н.Н., Костяшкин С.И., Сафронова Л.П. Методики описания лесных территорий в целях обеспечения эффективного дешифрования спутниковой информации РСА // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений. 2008. №5(2). С. 257-264.
2. Атрошенко Л.М., Богомолов В.В., Букша И.Ф., Горобец Н.Н., Костяшкин С.И., Костяшкин Д.С., Пастернак В.П. Технология оценки компонентов углеродного баланса лесов Украины с использованием данных зондирования Земли из космоса // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2009. №2(6). С. 497-505.
3. Букша И.Ф., Пастернак В.П. Инвентаризация и мониторинг парниковых газов в лесном хозяйстве, Харьков: Новое слово, 2005. 124 с.
4. Гитарский М.Л., Карабань Р.Г., Филипчук А.Н. Расчетная оценка стока углерода в лесах России за последнее десятилетие // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2002. №18. С. 261-275.
5. Кобечинская В.Г., Ярош О.Б. Оценка эмиссии углекислого газа на заповедных территориях Крыма // Теоретическая и прикладная экология. 2019. №2. С.83-90. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-2-083-090>
6. Лакида П.И. Фитомасса лесов Украины. Тернополь: Збруч, 2002. 256 с.
7. Лакин Г.Ф. Биометрия. М., Высшая школа, 1990. 343 с.
8. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 N.200-ФЗ. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/
9. Лесной план Республики Крым. Симферополь, 2021. 242 с. Режим доступа: <https://meco.rk.gov.ru/uploads/txteditor/meco/attachments/d4/1d/8c>
10. Моисеев Б.Н., Алябина И.О. Оценка потоков и баланс органического углерода в основных биомах России // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2004. №1. С. 61-69.
11. Нестеренко В.П. Закономерности формирования климатических изменений и их прогноз на территории Крыма // Научные ведомости: Естественные науки. 2016. №36, Т18. 239 с.
12. Петренко Н.Н., Лакида П.И. Изучение динамики фитомассы сосновых культур украинского Полесья // Научный Вестник НАУ. 2000. №25. С. 339-345.

13. Поляков А.Ф., Плуготарь Ю.В. Лесные формации Крыма и их экологическая роль. Харьков: Новое слово, 2009. 405 с.
14. О полигонах для разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса // Приказ Минобрнауки России № 74 от 5.02.2021. Режим доступа: <https://minobrnauki.gov.ru/upload/iblock/98d/98dacb79b446378eb420f7723a2fe191.pdf>
15. Руководство МГЭИК по составлению общенациональных кадастров газов с парниковым эффектом // Инструкция по отчетности для кадастра газов с парниковым эффектом, 1994. М. 100 с.
16. Санников С.Н. Лесные пожары как фактор преобразования структуры, возобновления и эволюции биогеоценозов // Экология. 1981. №6. С. 23-33.
17. Стратегия долгосрочного развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 год // Постановление Минэкономразвития РФ. Режим доступа: https://www.economy.gov.ru/material/file/babacbb75d32d90e28d3298582d13a75/proekt_strategii.pdf
18. Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н. и др. Определение запасов углерода насаждений на пробных площадях: сравнение аллометрического и конверсионно-объемного методов // Лесоведение. 1997. №5. С. 51-65.
19. Щепаченко Д.Г., Швиденко А.З., Шилаев В.С. Биологическая продуктивность и бюджет углерода лиственных лесов Северо-Востока России. М., ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. 296 с.
20. Швиденко А.З., Щепаченко Д.Г. Климатические изменения и лесные пожары в России // Лесоведение. 2013. №5. С. 50-61.
21. Carvalhais N. et al. Global covariation of carbon turnover times with climate in terrestrial ecosystems // Nature. 2014. No. 514. P. 213-217. <https://doi.org/10.1038/nature13731>
22. Cruz-López M. I., Manzo-Delgado L. de L., Gómez R. A., Chuvieco E., Equihua-Benítez J. A. Spatial distribution of forest fire emissions: a case study in three Mexican Ecoregions // Remote Sensing. 2019. Vol.1185, No. 11. 18 p. <https://doi.org/10.3390/rs11101185>
23. Narayan C. Review of CO₂ emissions mitigation through prescribed burning // European Forest Institute. EFI Technical Report 25, Finland, 2007. 57p.
24. Possu W.B., Estrada J.N., Jurado H.O. An overview: the potential role of agroforestry in enhancing carbon sequestration and reducing greenhouse gas emissions on agricultural lands // Adv Plants Agric. Res. 2018, No. 86. P. 417-430. <https://doi.org/10.15406/apar.2018.08.00361>
25. Thurner M., Beer C., Ciais P. et al. Evaluation of climate-related carbon turnover processes in global vegetation models for boreal and temperate forests // Glob. Chang. Biol. 2017. No.8. P. 3076-309. <https://doi.org/10.1111/gcb.13660>

References

1. Atroshenko L.M., Gorobets V.N., Gorobets N.N., Kostyashkin S.I., Safronova L.P. Metodiki opisaniya lesnykh territoriy v tselyakh obespecheniya effektivnogo deshifirovaniya sputnikovoy informatsii RSA [Methods for describing forest areas in order to ensure effective decryption of SAR satellite information]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa: Fizicheskie osnovy, metody i tekhnologii monitoringa okruzhayushchey sredy, potentsial'no opasnykh ob'ektov i yavleniy* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space: Physical principles, methods and technologies for monitoring the environment, potentially dangerous objects and phenomena], 2008, no. 5(2), pp. 257-264.
2. Atroshenko L.M., Bogomolov V.V., Buksha I.F., Gorobets N.N., Kostyashkin S.I., Kostyashkin D.S., Pasternak V.P. Tekhnologiya otsenki komponentov uglerodnogo balansa lesov Ukrainy s ispol'zovaniem dannykh zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Technology for assessing the components of the carbon balance of forests in Ukraine using Earth sensing data from space]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2009, no. 2(6), pp. 497-505.
3. Buksha I.F., Pasternak V.P. *Inventarizatsiya i monitoring parnikovyykh gazov v lesnom khozyaystve* [Inventory and monitoring of greenhouse gases in forestry], Khar'kov: Novoe slovo, 2005, 124 p.
4. Gitarskiy M.L., Karaban' R.T., Filipchuk A.N. Raschetnaya otsenka stoka ugleroda v lesakh Rossii za poslednee desyatiletie [Estimated carbon sink in the forests of Russia over the past decade]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem* [Problems of environmental monitoring and modeling of ecosystems], 2002, no. 18, pp. 261-275.
5. Kobechinskaya V.G., Yarosh O.B. Otsenka emissii uglekislogo gaza na zapovednykh territoriyakh Kryma [Estimation of carbon dioxide emissions in protected areas of Crimea]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and Applied Ecology], 2019, no. 2, pp. 83-90. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-2-083-090>
6. Lakida P.I. *Fitomassa lesov Ukrainy* [Phytomass of forests of Ukraine]. Ternopol': Zbruch, 2002, 256 p.
7. Lakin G.F. *Biometriya* [Biometrics]. M., Vysshaya shkola, 1990, 343 p.
8. *Lesnoy kodeks Rossiyskoy Federatsii* [The Forest Code of the Russian Federation] N.200-FZ 04.12.2006. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/
9. *Lesnoy plan Respubliki Krym* [Forest plan of the Republic of Crimea]. Simferopol, 242 p. <https://meco.rk.gov.ru/uploads/txteditor/meco/attachments/d4/1d/8c>

10. Moiseev B.N., Alyabina I.O. *Otsenka potokov i balans organicheskogo ugleroda v osnovnykh biomakh Rossii* [Estimation of flows and the balance of organic carbon in the main biomes of Russia]. *Ispol'zovanie i okhrana prirodnnykh resursov v Rossii* [Use and protection of natural resources in Russia], 2004. no.1. pp. 61-69.
11. Nesterenko V.P. Zakonomernosti formirovaniya klimaticheskikh izmeneniy i ikh prognoz na territorii Kryma [Patterns of climate change formation and their forecast on the territory of Crimea]. *Nauchnye vedomosti: Estestvennyye nauki* [Scientific reports: Natural sciences], 2016, vol. 18, no. 36, 239 p.
12. Petrenko N.N., Lakida P.I. *Izuchenie dinamiki fitomassy sosnovykh kul'tur ukrainskogo Poles'ya* [Studying the dynamics of phytomass of pine crops of Ukrainian Polesye]. *Nauchnyy Vestnik NAU* [Scientific Herald of the NAU], 2000, no. 25, pp. 339-345.
13. Polyakov A.F., Plugotar' Yu.V. *Lesnye formatsii Kryma i ikh ekologicheskaya rol'* [Forest formations of Crimea and their ecological role]. Kharkov: A new word, 405 p.
14. O poligonakh dlya razrabotki i ispytaniy tekhnologiy kontrolya uglerodnogo balansa [On landfills for the development and testing of carbon balance control technologies]. *Prikaz Minobrnauki Rossii* [Order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation] No. 74 dated February 5, 2021. <https://minobrnauki.gov.ru/upload/iblock/98d/98dacb79b446378eb420f7723a2fe191.pdf>
15. Rukovodstvo MGEIK po sostavleniyu obshchenatsional'nykh kadastrów gazów s parnikovym efektom [IPCC Guidelines for Compiling National Greenhouse Gas Inventories]. *Instruktsiya po otchetnosti dlya kadastra gazów s parnikovym efektom* [Instructions on reporting for the inventory of greenhouse gases], 1994, M., 100 p.
16. Sannikov S.N. Lesnye požary kak faktor preobrazovaniya struktury, vozobnovleniya i evolyutsii biogeotsenozów [Forest fires as a factor of transformation of the structure, renewal and evolution of biogeocenoses]. *Ekologiya* [Ecology], 1981, no. 6, pp. 23-33.
17. Strategiya dolgosrochnogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii s nizkim urovnem vybrosov parnikovyykh gazów do 2050 god [Strategy of long-term development of the Russian Federation with low greenhouse gas emissions until 2050]. *Postanovlenie Minekonomrazvitiya RF* [Resolution of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation]. https://www.economy.gov.ru/material/file/babacbb75d32d90e28d3298582d13a75/proekt_strategii.pdf
18. Utkin A.I., Zamolodchikov D.G., Korovin G.N. et al. Opredelenie zapasów ugleroda nasazhdeniy na probnykh ploshchadyakh: sravnenie allometricheskogo i konversionno-ob'emnogo metodów [Determination of carbon stocks of stands on trial plots: comparison of allometric and conversion-volumetric methods]. *Lesovedenie* [Forestry studies], 1997, no. 5, pp. 51-65.

19. Shchepachenko D.G., Shvienko A.Z., Shilaev V.S. *Biologicheskaya produktivnost' i byudzhnet ugleroda listvennichnykh lesov Severo-Vostoka Rossii* [Biological productivity and carbon budget of larch forests of the North-East of Russia]. Moscow., GOU VPO MGUL, 296 p.
20. Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G. Klimaticheskie izmeneniya i lesnye pozhary v Rossii [Climatic changes and forest fires in Russia]. *Lesovedenie* [Forestry studies], 2013, no. 5, pp.50-61.
21. Carvalhais N. et al. Global covariation of carbon turnover times with climate in terrestrial ecosystems. *Nature*, 2014, no. 514, pp. 213-217. <https://doi.org/10.1038/nature13731>
22. Cruz-López M. I., Manzo-Delgado L. de L., Gómez R. A., Chuvieco E., Equihua-Benitez J. A. Spatial distribution of forest fire emissions: a case study in three Mexican Ecoregions. *Remote Sensing*, 2019, vol. 1185, no. 11, 18 p. <https://doi.org/10.3390/rs11101185>
23. Narayan C. Review of CO₂ emissions mitigation through prescribed burning. *European Forest Institute*. EFI Technical Report 25, Finland, 2007, 57p.
24. Possu W.B., Estrada J.N., Jurado H.O. An overview: the potential role of agro forestry in enhancing carbon sequestration and reducing greenhouse gas emissions on agricultural lands. *Adv Plants Agric. Res*, 2018, no. 86, pp. 417–430. <https://doi.org/10.15406/apar.2018.08.00361>
25. Thurner M., Beer C., Ciais P. et al. Evaluation of climate-related carbon turnover processes in global vegetation models for boreal and temperate forests. *Glob. Chang. Biol.*, 2017, no. 8, pp. 3076-309. <https://doi.org/10.1111/gcb.13660>

ДААННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Валентина Григорьевна Кобечинская, к.б.н., доцент кафедры экологии и зоологии

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Крымский Федеральный университет им. В.И. Вернадского» просп. Вернадского, 4. г. Симферополь, Республика Крым, 295015, Российская Федерация
valekohome@mail.ru

Ярош Ольга Борисовна, д.э.н., профессор кафедры маркетинга, торгового и таможенного дела

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Крымский Федеральный университет им. В.И. Вернадского» просп. Вернадского, 4. г. Симферополь, Республика Крым, 295015, Российская Федерация
Iarosh.olga.cfu@gmail.com

Апостолов Валерий Леонидович, к.б.н., доцент кафедры экологии и зоологии
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
«Крымский Федеральный университет им. В.И. Вернадского»
просп. Вернадского, 4. г. Симферополь, Республика Крым, 295015,
Российская Федерация
valeraapostolov@bk.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Valentina G. Kobechinskaya, PhD, Docent of the Ecology and Zoology
Department
*V.I. Vernadsky Crimean Federal University
4, Vernadsky Ave., Simferopol, Republic of Crimea, 295015, Russian
Federation
valekohome@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9467-9533>
SPIN-code: 816134
Scopus Author ID: 57210976735*

Olga B. Yarosh, Doctor of Economics, Professor of the Department of
Marketing, Trade and Customs
*V.I. Vernadsky Crimean Federal University
4, Vernadsky Ave., Simferopol, Republic of Crimea, 295015, Russian
Federation
iarosh.olga@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9663-2528>
SPIN-code: 7140-3642*

Valery L. Apostolov, Ph.D., Docent of the Ecology and Zoology Department
*V.I. Vernadsky Crimean Federal University
4, Vernadsky Ave., Simferopol, Republic of Crimea, 295015, Russian
Federation
valeraapostolov@bk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4591-1006>
SPIN-code: 901150
Scopus Author ID: 57211965865*

Поступила 01.08.2022

После рецензирования 24.08.2022

Принята 01.09.2022

Received 01.08.2022

Revised 24.08.2022

Accepted 01.09.2022

**БИОХИМИЯ, ГЕНЕТИКА
И МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ****BIOCHEMISTRY, GENETICS
AND MOLECULAR BIOLOGY**

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-123-140

UDC 616.36-003.826



Original article | Digestive Diseases

**PREVENTIVE ZINC SUPPLEMENTATION EFFECT
ON REDOX STATUS IN RAT MODEL OF MAFLD**

*E.R. Nikonorova, A.A. Nikonorov, E.V. Popova,
E.F. Agletdinov, A.I. Sinitskii, A.A. Tinkov*

Background. Oxidative stress plays an important role in the pathogenesis of metabolic-associated fatty liver disease (MAFLD). Antioxidant trace elements as cofactors of antioxidant enzymes and metalloproteins are involved in this process. Zinc being an important antioxidant may have a positive effect on the treatment of liver pathology. The study aimed to assess the effect of preventive zinc supplementation on MAFLD in rats.

Materials and Methods. A total of 26 three-month-old female Wistar rats were used in the present study. The activity of the antioxidant enzymes superoxide dismutase and catalase, some redox status markers, such as ceruloplasmin, oxidized tryptophan, dithyrosines, total thiols, carbonyls, TBARS, and uric acid were evaluated. Oxidative stress biomarkers were studied spectrophotometrically.

Results. MAFLD was accompanied by hyperuricemia and a decrease in serum dityrosines. The addition of Zn to the diet prevented the development of steatosis, decreased the level of oxidized tryptophan in the liver, and paradoxically caused hyperuricemia in the MAFLD model used. Zn supplementation had a positive effect on the prevention of MAFLD, had a little effect on redox status of animals but caused paradoxical hyperuricemia. Future studies are needed to establish the mechanisms of the Zn effect at the cellular level.

Keywords: MAFLD; redox status; liver steatosis; zinc; uric acid

For citation. Nikonorova E.R., Nikonorov A.A., Popova E.V., Agletdinov E.F., Sinitskii A.I., Tinkov A.A. Preventive Zinc Supplementation Effect on Redox Status in Rat Model of MAFLD. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 123-140. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-123-140

Научная статья | Болезни органов пищеварения

ВЛИЯНИЕ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ЦИНКА НА ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЙ СТАТУС В МОДЕЛИ MAFLD

**Е.Р. Никонорова, А.А. Никоноров, Е.В. Попова,
Э.Ф. Аглетдинов, А.И. Сеницкий, А.А. Тиньков**

Обоснование. Окислительный стресс играет важную роль в патогенезе метаболически-ассоциированной жировой болезни печени (MAFLD). В этом процессе участвуют антиоксидантные микроэлементы в качестве кофакторов и металлопротеинов. Цинк, являясь важным антиоксидантом, может оказывать положительное действие при патологии печени.

Цель. Оценить влияние профилактического применения цинка на некоторые окислительно-восстановительные параметры и морфологию печени на модели MAFLD у крыс.

Материалы и методы. В исследовании использовали 26 трехмесячных самок крыс линии Вистар. Оценивали активность супероксиддисмутазы и каталазы, содержание церулоплазмينا, окисленного триптофана, дитиозинон, общих тиоловых и карбонильных соединений, ТБК-РС и мочевую кислоту на спектрофотометре. Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью RStudio для MacOS (версия 1.3.1056).

Результаты. MAFLD сопровождалась гиперурикемией и снижением уровня дитиозинон в сыворотке крови. Добавление Zn в рацион предотвращало развитие стеатоза, снижало уровень окисленного триптофана в печени, но вызывало гиперурикемию в используемой модели MAFLD. Применение цинка оказало положительный эффект при профилактике MAFLD, мало влияло на окислительно-восстановительный статус животных, но вызвало парадоксальную гиперурикемию. Поэтому, необходимы дальнейшие исследования для установления механизмов действия цинка на клеточном уровне.

Ключевые слова: MAFLD; окислительно-восстановительный статус; стеатоз печени; цинк; мочевая кислота

Для цитирования. Никонорова Е.Р., Никоноров А.А., Попова Е.В., Аглетдинов Э.Ф., Синуцкий А.И., Тиньков А.А. Влияние профилактического применения цинка на окислительно-восстановительный статус в модели MAFLD // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №1. С. 123-140. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-123-140

Introduction

Metabolic associated fatty liver disease (MAFLD) also termed nonalcoholic fatty liver disease (NAFLD) is the most common cause of chronic liver disease in the world with a global prevalence estimated at 24% [1]. MAFLD is defined as a hepatic manifestation of a complex pathological condition in which more than 5% of hepatocytes contain fat droplets. It is associated with multimetabolic disorders [6], hypertension, insulin resistance, diabetes, dyslipidemia, and obesity [11, 19, 20]. Based on this idea and the recent advantages in disease pathogenesis a recent consensus from an international panel proposed a new definition for NAFLD: MAFLD [30].

Trace elements are necessary to maintain the redox status, for intracellular signaling, implementation of enzyme activity, etc. [25, 27] and an imbalance in their metabolism may play a significant role in MAFLD and related diseases [3]. Significant negative association of Zn with the severity of MAFLD has been shown [2]. Zn plays an important role in stabilizing insulin hexamers, accumulation of pancreatic hormones and signaling pathways involved in insulin action [4]; it is an efficient antioxidant [10]. Insulin resistance has traditionally been defined as one of the main pathophysiological factors of MAFLD and previous studies have demonstrated that oxidative stress and endoplasmic reticulum stress were associated with disease pathogenesis [15].

Objective

Taking into account all of this evidence, the preventive use of Zn in MAFLD may reduce the severity of the metabolic changes that underlie the excessive accumulation of lipids in hepatocytes. Therefore, the aim of this study was to assess the effect of preventive Zn supplementation on the diet-induced model of MAFLD in rats.

Material and methods

Experimental design

In the present study, a total of 26 three-month-old female Wistar rats were used. The study protocol was approved by the institutional Local Ethics Com-

mittee (protocol № 1/14.01.2017) and carried out in accordance with the ethical standards laid down in the Declaration of Helsinki of 1964 and its subsequent amendments. The animals were acclimatized to laboratory conditions for 2 weeks prior to the experiment. The temperature in the animal room was $23 \pm 1^\circ\text{C}$. The light and dark cycles in the animal room were 12 each (8.00–20.00). The total duration of the dietary intervention was 4 weeks. All rats were fed a standard laboratory chow (270 kcal/100 g, 20% kcal protein, 7% kcal carbohydrates, 10% kcal fat, 15.01% of crude fiber) “Orenburg food mixture factory”, Orenburg, Russia). Laboratory chow was composed of wheat (at least 10%), oat (at least 10%), bran (no more than 20%), sunflower oil cake (at least 10%), husk, calcium phosphate, calcium carbonate, sodium chloride, and vitamin mix (vitamins A, D₃, B1, B2, B3, B4, B5, B6, B12, folic acid, and biotin), amino acids methionine, cysteine, threonine. The Zn level in the diet was 30 µg/g.

The animals were divided into 4 groups:

- 1) Control (C) (n = 6) were kept on standard chow (10% fat calories, 270 kcal/100 g, ‘Orenburg Food Mixture Factory’, Orenburg, Russia) and pure drinking water (total mineralization of less than 250 mg/L).
- 2) Animals from the second group (MAFLD) (n=6) developing MAFLD were maintained on a lard-based high-fat high-carbohydrate diet (60% calories from fat (429 kcal/100 g) and 10% sucrose solution instead of drinking water (40 kcal/100 ml)).
- 3) Zn-supplemented group of animals supplemented with Zn (ZnS) (n = 7) obtained 227 mg / L of zinc daily as Zn sulfate ZnSO₄ dissolved in drinking water
- 4) Animals from group number four (MAFLD-ZnS) (n=7) were maintained on a lard-based high-fat high-carbohydrate diet (60% calories from fat (429 kcal/100 g) and 10% sucrose solution and 227 mg/L zinc as Zn sulfate ZnSO₄ instead of drinking water (40 kcal/100 ml)).

Histological Assessment of the Liver

At the end of the study, liver samples were fixed in neutral buffered formalin and embedded in paraffin blocks. Obtained samples were sliced (5 µm) and stained with hematoxylin and eosin. Histology of liver tissue was examined using an Olympus CX31 UTV1X2 & UCMAD3 (Japan) microscope equipped with a digital camera. ImageJ software (NIH, Bethesda, MD, USA) software was used for the analysis of hepatocyte nucleus areas. For the purpose of analysis, the nuclear circumferences were measured (100 nuclei per image – in the periportal and centrilobular zones of each liver sample). Nucleus area was calculated from nuclear circumference by the ImageJ software and expressed as µm².

Oxidative stress biomarkers

Serum and liver samples were used for the assessment of oxidative stress biomarkers. The analysis of SOD activity was based on the registration of adrenochrome (a product of adrenaline autoxidation) at 347 nm [18]; catalase activity was determined at 410 nm by the reaction of H_2O_2 with ammonium molybdate [12]; the ceruloplasmin content was assayed using the Ravin method with p-phenylenediamine in sodium hydroxide as substrate and expressed as mg/g protein [26]. TBARS content was assessed in the reaction with thiobarbituric acid [21]; TSH content was determined by using thiol-specific reagent dithionitrobenzoic acid (DTNB) at 412 nm [17]; carbonyls content was assayed in reaction of carbonyl groups with 2,4-dinitrophenylhydrazine (DNPH) with the formation of protein-bound 2,4-dinitrophenylhydrazones at 370 nm [14]; dityrosine and oxidized tryptophan concentrations were assessed in presence of $FeSO_4$ and EDTA by registration of blue dityrosine fluorescence formed due to oxidation of tyrosine residues at the excitation wavelength 325 nm, emission wavelength 415 nm and decreased tryptophan fluorescence at the excitation wavelength 295 nm, emission wavelength 340 nm [32].

Liver homogenization (1:5; w/v) was performed in an ice-cold 1/15 M phosphate buffer (pH = 7.4) with subsequent centrifugation ($4000 \times g$, 15 min, 4°C). Serum and supernatant levels of TBARS, TSH, and carbonyls were analyzed spectrophotometrically at PD-303UV spectrophotometer (Apel, Japan). SOD and catalase activity in the supernatant were assessed spectrophotometrically at SF-56 UV/Vis spectrophotometer (OKB Spectr, Saint Petersburg, Russia). Serum and supernatant levels of dityrosine and oxidized tryptophan were assessed by means of fluorometry analysis at Fuorat ABLF 2 fluorimeter (Lumex, Saint Petersburg, Russia). Serum uric acid content was measured spectrophotometrically using the respective Vector-Best kit (Vector-Best, Novosibirsk, Russia).

Statistical analysis

Statistical analysis was performed by RStudio for MacOS (version 1.3.1056), an open-source of software, programmed in the R programming language. Data were expressed as median and 25 and 75 percentile boundaries. Group-by-group comparison of data was evaluated using the Kruskal-Wallis test with the post hoc Dunn test for multiple comparisons. All differences were considered significant at $p < 0.05$.

Results

Histological Assessment of the Liver

As it is seen from Fig. 1, mean nucleus area in centrilobular and periportal zones was lower than that in the control group in rats with MAFLD.

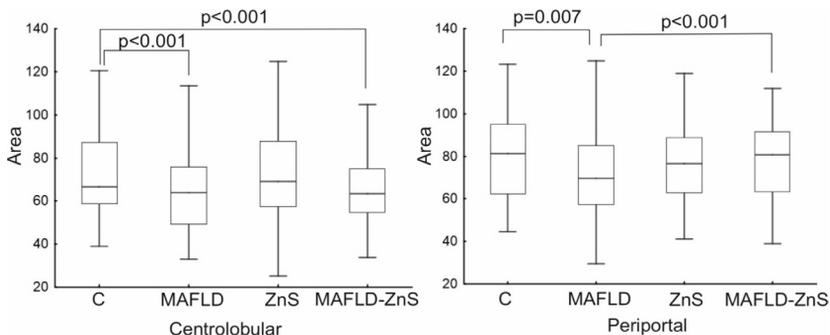


Fig. 1. Analysis of the hepatocyte nucleus areas (in μm^2). Data presented as median (25-75) (box) and non-outlier ranges.

Zn treatment resulted in a significant increase in periportal nucleus area in MAFLD-Zn group accompanied by a decrease in steatosis in this zone (Fig. 2).

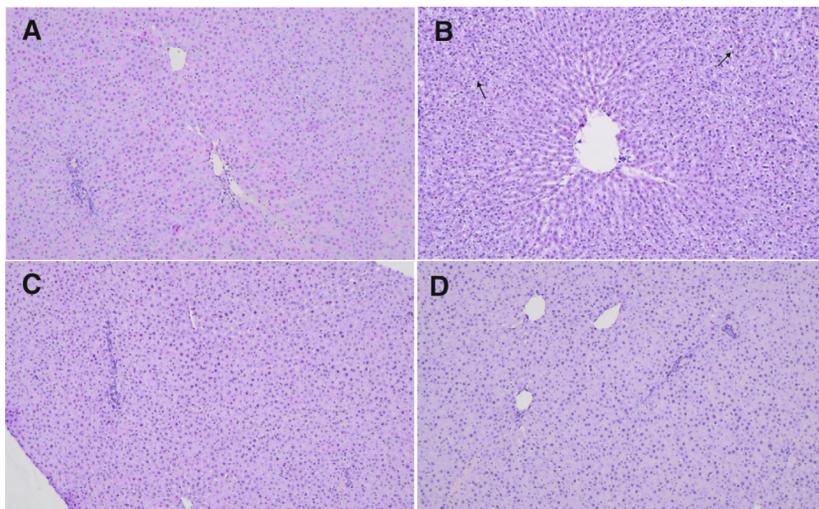


Fig. 2. Liver histology (hematoxylin and eosin stain, $\times 100$). a – control animals; b – MAFLD animals; c – ZnS animals; d – MAFLD-ZnS animals. Zones of steatosis are shown by arrows

Oxidative stress markers of the liver

The data obtained indicate that Zn supplementation significantly affected the parameters of oxidative stress in the liver (Table 1). In particular, liver oxidized

tryptophan levels in ZnS and MAFLD-ZnS groups were significantly lower than that in control group by 33 ($p=0.005$) and 37% ($p=0.018$), respectively. Liver total thiols (TSH) content was reduced in ZnS group being 16% ($p=0.046$) less in comparison with the control values.

Table 1.

Liver oxidative stress parameters of experimental animals

| Parameter | C | MAFLD | ZnS | MAFLD-ZnS |
|--|------------------------|------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Liver SOD, U/min*mg protein | 314.9 (194.3-315.0) | 159.1 (118.3-173.4) | 222.8 (152.5-320.6) | 192.9 (118.9-217.5) |
| Liver ceruloplasmin, mg/g protein | 4.6 (4.6-5.7) | 3.3 (3.1-3.7) | 5.5 (4.7-5.7) ^b | 3.7 (3.7-4.4) |
| Liver catalase activity, $\mu\text{mol/l}^*\text{g protein}$ | 296.4 (257.5-308.9) | 324.2 (310.1-326.8) | 280.0 (265.7-320.3) | 260.8 (224.3-390.1) |
| Liver oxidized tryptophan, U/g protein | 1.4 (1.2-1.5) | 1.1 (0.9-1.4) | 0.9 (0.8-1.0) ^a | 0.9 (0.8-1.0) ^a |
| Liver dityrosines, U/g protein | 1.0 (0.9-1.1) | 1.1 (0.8-1.6) | 0.8 (0.5-1.1) | 1.1 (0.9-1.6) |
| Liver TBARS, nmol/mg protein | 1.2 (1.1-1.3) | 1.2 (1.2-1.5) | 1.0 (0.8-1.3) | 1.4 (1.2-1.4) |
| Liver TSH, mmol/mg protein | 11.3 (10.7-11.5) | 10.0 (9.8-10.6) | 9.5 (8.8-10.2) ^a | 9.7 (9.2-11.3) |
| Liver protein carbonyls, $\mu\text{mol/l}$ | 23.3 (16.5-26.4) | 22.9 (16.8-23.3) | 16.574 (14.8-22.0) | 17.5 (14.1-20.8) |
| Data presented as median (25-75); a – significant difference compared to control animals ($p < 0.05$); b – significant difference compared to MAFLD animals ($p < 0.05$); c – significant difference compared to ZnS animals ($p < 0.05$) | | | | |

Oxidative stress markers of the serum

As it is seen from Table 2, Zn supplementation or MAFLD did not affect significantly serum TBARS, TSH and carbonyls content that indicate an absence of oxidative protein modification in rats' serum. However, the serum dityrosines content in overfed rats (MAFLD) with both absence and presence Zn treatment was significantly lower than the control values by 34% ($p=0.013$) and 38% ($p=0.024$), respectively.

Despite a 23 ($p=0.121$) and 35% ($p=0.648$) decrease in serum ceruloplasmin concentration in the MAFLD and MAFLD-ZnS groups, the observed changes were not significant. Uric acid content was 39% higher in rats with MAFLD than that in the healthy animals ($p=0.063$). Surprisingly, Zn supplementation resulted in 2 ($p=0.070$) and a more than 2-fold increase ($p=0.005$)

in serum uric acid concentration in the ZnS and MAFLD-ZnS groups, respectively.

Table 2.

Serum oxidative stress parameters of experimental animals

| Parameter | C | MAFLD | ZnS | MA-FLD-ZnS |
|--|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Serum ceruloplasmin, mg/g protein | 2.5 (2.2-2.8) | 1.9 (1.8-2.1) | 2.3 (2.2-2.4) | 1.6 (1.5-2.9) |
| Serum oxidized tryptophan, U/g protein | 0.025 (0.023-0.029) | 0.022 (0.021-0.023) | 0.024 (0.020-0.027) | 0.023 (0.020-0.024) |
| Serum dityrosine, U/g protein | 0.032 (0.026-0.039) | 0.021 (0.018-0.023) ^a | 0.030 (0.026-0.034) ^b | 0.020 (0.019-0.024) ^a |
| Serum TBARS, nmol/mg protein | 0.24 (0.18-0.29) | 0.41 (0.20-0.80) | 0.26 (0.23-0.52) | 0.42 (0.19-0.52) |
| Serum TSH, mmol/mg protein | 0.87 (0.84-1.20) | 0.92 (0.70-1.33) | 1.12 (0.86-1.23) | 1.09 (0.98-1.31) |
| Serum protein carbonyls, $\mu\text{mol/l}$ | 59.8 (53.3-75.9) | 55.9 (50.5-59.1) | 53.9 (41.4-68.4) | 61.5 (37.6-82.5) |
| Uric acid, $\mu\text{mol/l}$ | 155.2 (132.2-166.7) | 255.8 (224.1-678.2) | 310.3 (195.4-321.8) | 327.6 (316.1-431.0) ^a |
| Data presented as median (25-75); a – significant difference compared to control animals ($p < 0.05$); b – significant difference compared to MAFLD animals ($p < 0.05$); c – significant difference compared to ZnS animals ($p < 0.05$) | | | | |

Discussion

Changes in levels of certain trace elements such as copper, zinc, and iron play a crucial role in the occurrence of metabolic disorders. Disturbance of trace elements homeostasis is recognized as one of the mechanisms responsible for MAFLD development [29]. Since the liver is the main organ of lipid metabolism and metal biotransformation, hepatic dysfunction can be closely related to MAFLD through oxidative stress (Haber-Weiss and Fenton reactions) [8, 9]. In the present study we did not reveal any changes in liver redox status in animals with MAFLD. The existing data on redox enzymes activity in liver steatosis are very contradictory. A detailed clinical study by Videla et al. (2004) demonstrated more than a 4-fold increase in liver protein carbonyls in patients with steatosis compared to healthy controls [33]. The authors showed a decrease in SOD and catalase activity in patients with steatosis and steatohepatitis [33]. The study by Yesilova et al. (2005) revealed a negative association between Cu/Zn-SOD levels and BMI, glucose, insulin, and HO-

MA-IR in MAFLD [34]. In a previous study, the same results with unchanged TBARS, TSH, and carbonyls were shown [7]. The possible reason for the results obtained could be an initial stage of the disease when there were no significant changes in liver metabolism.

Zn treatment reduced liver oxidized tryptophan both in the healthy animals and rats with MAFLD, and TSH levels in healthy animals. These results are in line with those of previous studies indicating an antioxidant effect of Zn [22]. It was shown that ionic Zn binds to thiol groups of proteins and prevents their oxidation [24]. However, the mechanism of the revealed decrease in oxidized tryptophan requires a more detailed study.

Although serum uric acid levels showed a tendency to increase in healthy animals treated with Zn and rats with MAFLD, data on the role of uric acid in MAFLD, metabolic syndrome, and other metabolic disorders are controversial. Our finding corresponds to the existing data showing fructose-induced hyperuricemia in MAFLD [13]. In a study by Oral et al., BMI, homeostatic assessment model (HOMA-IR), and uric acid values were significantly higher in the NAFLD group than in the control group. A positive correlation was found between stage NAFLD and uric acid concentration [23]. At the same time, many studies have indicated that uric acid is a strong natural scavenger of various free radicals [5]. Uric acid is an end product of purine metabolism, and its homeostasis depends on production and excretion. Excretion is mainly regulated by glomerular filtration and reabsorption [16]. The driving force behind the reabsorption by the uric acid transporter URAT1 is the exchange of uric acid with chloride, sulfate, and other anions [28]. In our opinion, zinc sulfate used in the study could induce an increased excretion of sulfate anions in urine, competing with uric acid, and as a consequence, provide an increased level of its reabsorption resulting in the observed rise. Umeki et al. showed that oral zinc reverses elevated serum uric acid concentration to normal levels in patients with Wilson's disease, possibly by increasing synthesis in the liver [31]. However, data obtained from the NHANES (2001-2014) reveal an inverse association between zinc intake and hyperuricemia among adults in the United State [35]. In our opinion, more detailed studies are needed to understand the Zn effect on purine metabolism.

In general, the results of the study showed that Zn supplementation prevented liver steatosis developed in MAFLD, reduced liver oxidized tryptophan in the healthy animals and rats with MAFLD. In addition, Zn treatment in healthy animals and MAFLD-ZnS treated animals resulted in unexplained hyperuricemia

Conclusions

In conclusion, Zn supplementation improved liver morphology in rats with MAFLD, but causes paradoxical hyperuricemia. At the same time, no significant changes in liver redox status and an only slight effect on serum oxidative stress markers were observed in the present model of MAFLD. Future studies are needed to establish the mechanisms of the Zn effect at the cellular level.

Author contributions. The authors contributed equally to the research.

Conflict of interest statement. The authors declare that they have no conflict of interest.

Availability of data and material. The data that support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

Funding. This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Acknowledgements. The authors would like to thank Daria R. Soliannikova, Associate Professor at the Department of Histology, Embryology, and Cytology of South Ural State Medical University for help in histological examination and interpretation of the results.

References

1. Araújo A.R., Rosso N., Bedogni G., Tiribelli C., Bellentani S. Global epidemiology of non-alcoholic fatty liver disease/non-alcoholic steatohepatitis: What we need in the future. *Liver International*, 2018, vol. 38, pp. 47-51. <https://doi.org/10.1111/liv.13643>
2. Asprouli E., Kalafati I. P., Sakellari A., Karavoltso S., Vlachogiannakos J., Revenas K., ... & Kalogeropoulos, N. Evaluation of plasma trace elements in different stages of nonalcoholic fatty liver disease. *Biological trace element research*, 2019, vol. 188, no. 2, pp. 326-333. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1432-9>
3. Chen C, Zhou Q., Yang R., Wu Z., Yuan H., Zhang N., ... & Sun L. Copper exposure association with prevalence of non-alcoholic fatty liver disease and insulin resistance among US adults (NHANES 2011–2014). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021, vol. 218, pp. 112295.
4. Cruz K.J.C., de Oliveira A.R.S., Morais J.B.S., Severo J.S., Mendes P.M.V., de Sousa Melo S.R., ... & Marreiro D.D.N. Zinc and insulin resistance: biochemical and molecular aspects. *Biological trace element research*, 2018, vol. 186, no. 2, 407-412.
5. El Ridi R., & Tallima H. Physiological functions and pathogenic potential of uric acid: A review. *Journal of advanced research*, 2017, vol. 8, no. 5, pp. 487-493. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2017.03.003>

6. Eslam M., Newsome P.N., Sarin S.K., Anstee Q.M., Targher G., Romero-Gomez M., ... & George J. A new definition for metabolic dysfunction-associated fatty liver disease: An international expert consensus statement. *Journal of hepatology*, 2020, vol. 73. no.1, 202-209. <https://doi.org/10.1016/j.jhep.2020.03.039>
7. Gatiatulina E.R., Popova E.V., Polyakova V.S., Skalnaya A.A., Agletdinov E.F., Nikonorov A.A., ... & Tinkov A.A. Evaluation of tissue metal and trace element content in a rat model of non-alcoholic fatty liver disease using ICP-DRC-MS. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2017, vol. 39, pp. 91-99. <https://doi.org/10.1016/j.jtomb.2016.08.007>
8. Halliwell B., Gutteridge J.M. Oxygen toxicity, oxygen radicals, transition metals and disease. *Biochem J*, 1984, vol. 219, pp. 1–14.
9. Halliwell B., Gutteridge J.M. Role of free radicals and catalytic metal ions in human disease: an overview. *Methods Enzymol*, 1990, vol. 186, pp. 1–85
10. Jarosz M., Olbert M., Wyszogrodzka G., Młyniec K., & Librowski T. Antioxidant and anti-inflammatory effects of zinc. Zinc-dependent NF- κ B signaling. *Inflammopharmacology*, 2017, vol. 25, no. 1, pp. 11-24. <https://doi.org/10.1007/s10787-017-0309-4>
11. Jarvis H., Craig D., Barker R., Spiers G., Stow D., Anstee Q.M., Hanratty B. Metabolic risk factors and incident advanced liver disease in non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD): A systematic review and meta-analysis of population-based observational studies. *PLoS medicine*, 2020, vol. 17(4), e1003100.
12. Korolyuk M.A., Ivanova I.G., Maiorova I.G. Metod opredeleniya aktivnosti katalazy [A method for measuring catalase activity]. *Lab. Delo*, 1988, vol. 1, pp. 16-18.
13. Lanaspá M.A., Sanchez-Lozada L.G., Choi Y.J., Cicerchi C., Kanbay M., Roncal-Jimenez C.A., ... & Johnson R.J. Uric acid induces hepatic steatosis by generation of mitochondrial oxidative stress: potential role in fructose-dependent and-independent fatty liver. *Journal of Biological Chemistry*, 2012, vol. 287, no. 48, 40732-40744. <https://doi.org/10.1074/jbc.m112.399899>
14. Levine R.L., Garland D., Oliver C.N., Amici A., Climent, I. Determination of carbonyl content in oxidatively modified proteins. *Meth Enzymol*, 1990, vol. 186, pp. 464–478.
15. Lizana P., Galdames M., Rodrigo R. Oxidative stress and endoplasmic reticulum stress as potential therapeutic targets in non-alcoholic fatty liver disease. *Reactive Oxygen Species*, 2017, vol. 4, no. 10, pp. 266-274. <http://dx.doi.org/10.20455/ros.2017.847>
16. Maiuolo J., Oppedisano F., Gratteri S., Muscoli C., Mollace V. Regulation of uric acid metabolism and excretion. *International journal of cardiology*, 2016, vol. 213, pp. 8-14. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2015.08.109>

17. Miao-Lin H. Measurement of protein thiol groups and glutathione in plasma. *Methods Enzymol*, 1994, vol. 233, pp. 380-383. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(94\)33044-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(94)33044-1)
18. Misra H.P., Fridovich I. The role of superoxide anion in the autoxidation of epinephrine and a simple assay for superoxide dismutase. *Journal of Biological chemistry*, 1972, vol. 247, no. 10, pp. 3170-3175. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)45228-9](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)45228-9)
19. Miyake T., Kumagi T., Furukawa S., Tokumoto Y., Hirooka M., Abe M., Hiasa Y., Matsuura B., Onji M. Non-alcoholic fatty liver disease: Factors associated with its presence and onset. *J. Gastroenterol. Hepatol*, 2013, vol. 28, pp. 71–78. <https://doi.org/10.1111/jgh.12251>
20. Moskalenko O.L., Smirnova O.V., Kasparov E.V., Kasparova I.E. Metabolicheskiy sindrom: otsenka kachestva zhizni, urovnya trevogi i depressii u patsientov. [Metabolic Syndrome: Assessment of Quality of Life, Anxiety and Depression in Patients]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 6, pp. 11-28. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-11-28>
21. Ohkawa, H., Ohishi, N., & Yagi, K. Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. *Analytical biochemistry*, 1979, vol. 95, no. 2, pp. 351-358. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(79\)90738-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(79)90738-3)
22. Olechnowicz, J., Tinkov, A., Skalny, A., & Suliburska, J. Zinc status is associated with inflammation, oxidative stress, lipid, and glucose metabolism. *The Journal of Physiological Sciences*, 2018, vol. 68, no. 1, pp. 19-31.
23. Oral, A., Sahin, T., Turker, F., & Kocak, E. Relationship between serum uric acid levels and nonalcoholic fatty liver disease in non-obese patients. *Medicina*, 2019, vol. 55, no. 9, pp. 600. <https://doi.org/10.3390/medicina55090600>
24. Oteiza, P. I. Zinc and the modulation of redox homeostasis. *Free Radic. Biol. Med*, 2012, vol. 53, no. 9, pp. 1748-1759. <https://doi.org/10.1007/s12576-017-0571-7>
25. Prasad, A. S. (Ed.). *Essential and toxic element: trace elements in human health and disease*. Elsevier, 2013.
26. Ravin, H. A. An improved colorimetric enzymatic assay of ceruloplasmin. *The Journal of laboratory and clinical medicine*, 1961, vol. 58, no. 1, pp. 161-168. <https://doi.org/10.5555/uri:pii:0022214361901391>
27. Sies, H., & Jones, D. P. Reactive oxygen species (ROS) as pleiotropic physiological signalling agents. *Nature reviews Molecular cell biology*, 2020, vol. 21, no. 7, pp. 363-383. <https://doi.org/10.1038/s41580-020-0230-3>
28. So, A., & Thorens, B. Uric acid transport and disease. *The Journal of clinical investigation*, 2010, vol. 120, no. 6, pp. 1791-1799. <https://doi.org/10.1172/jci42344>

29. Song M., Vos M., McClain C. Copper-fructose interactions: a novel mechanism in the pathogenesis of NAFLD. *Nutrients*. 2018; 10: 1815.
30. Tilg H., Effenberger M. From NAFLD to MAFLD: when pathophysiology succeeds. *Nature reviews Gastroenterology & hepatology*, 2020, vol. 17, no. 7, pp. 387-388. <https://doi.org/10.1038/s41575-020-0316-6>
31. Umeki S., Ohga R., Konishi Y., Yasuda T., Morimoto K., Terao A. Oral zinc therapy normalizes serum uric acid level in Wilson's disease patients. *The American journal of the medical sciences*, 1986, vol. 292, no. 5, pp. 289-292. <https://doi.org/10.1097/00000441-198611000-00007>
32. Ushijima Y., Nakano M., Goto T. Production and identification of bityrosine in horseradish peroxidase-H₂O₂-tyrosine system. *Biochemical and biophysical research communications*, 1984, vol. 125, no. 3, pp. 916-918. [https://doi.org/10.1016/0006-291X\(84\)91370-6](https://doi.org/10.1016/0006-291X(84)91370-6)
33. Videla L. A., Rodrigo R., Orellana M., Fernandez V., Tapia G., Quiñones L., ... Poniachik J. Oxidative stress-related parameters in the liver of non-alcoholic fatty liver disease patients. *Clinical science*, 2004, vol. 106, no. 3, pp. 261-268. <https://doi.org/10.1042/CS20030285>
34. Yesilova Z., Yaman H., Oktenli C., Ozcan A., Uygun A., Cakir E., ... Dagalp K. Systemic markers of lipid peroxidation and antioxidants in patients with nonalcoholic fatty liver disease. *Official journal of the American College of Gastroenterology | ACG*, 2005, vol. 100, no. 4, pp. 850-855. <https://doi.org/10.1111/j.1572-0241.2005.41500.x>
35. Zhang Y., Liu Y., Qiu H. Association between dietary zinc intake and hyperuricemia among adults in the United States. *Nutrients*, 2018, vol. 10, no. 5, pp. 568.

Список литературы

1. Araújo A.R., Rosso N., Bedogni G., Tiribelli C., Bellentani S. Global epidemiology of non-alcoholic fatty liver disease/non-alcoholic steatohepatitis: What we need in the future // *Liver International*, 2018, vol. 38, pp. 47-51. <https://doi.org/10.1111/liv.13643>
2. Asprouli E., Kalafati I. P., Sakellari A., Karavoltso S., Vlachogiannakos J., Revenas K., ... Kalogeropoulos N. Evaluation of plasma trace elements in different stages of nonalcoholic fatty liver disease // *Biological trace element research*, 2019, vol. 188, no. 2, pp. 326-333. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1432-9>
3. Chen C, Zhou Q., Yang R., Wu Z., Yuan H., Zhang N., ... Sun L. Copper exposure association with prevalence of non-alcoholic fatty liver disease and insulin resistance among US adults (NHANES 2011–2014) // *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021, vol. 218, pp. 112295.

4. Cruz K.J.C., de Oliveira A.R.S., Morais J.B.S., Severo J.S., Mendes P.M.V., de Sousa Melo S.R., ... Marreiro D.D.N. Zinc and insulin resistance: biochemical and molecular aspects // *Biological trace element research*, 2018, vol. 186, no. 2, pp. 407-412.
5. El Ridi R., Tallima H. Physiological functions and pathogenic potential of uric acid: A review // *Journal of advanced research*, 2017, vol. 8, no. 5, pp. 487-493. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2017.03.003>
6. Eslam M., Newsome P.N., Sarin S.K., Anstee Q.M., Targher G., Romero-Gomez M., ... George J. A new definition for metabolic dysfunction-associated fatty liver disease: An international expert consensus statement // *Journal of hepatology*, 2020, vol. 73. no. 1, pp. 202-209. <https://doi.org/10.1016/j.jhep.2020.03.039>
7. Gatiatulina E.R., Popova E.V., Polyakova V.S., Skalnaya A.A., Agletdinov E.F., Nikonorov A.A., ... Tinkov A.A. Evaluation of tissue metal and trace element content in a rat model of non-alcoholic fatty liver disease using ICP-DRC-MS // *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2017, vol. 39, pp. 91-99. <https://doi.org/10.1016/j.jtomb.2016.08.007>
8. Halliwell B., Gutteridge J.M. Oxygen toxicity, oxygen radicals, transition metals and disease // *Biochem J*, 1984, vol. 219, pp. 1–14.
9. Halliwell B., Gutteridge J.M. Role of free radicals and catalytic metal ions in human disease: an overview // *Methods Enzymol*, 1990, vol. 186, pp. 1–85.
10. Jarosz M., Olbert M., Wyszogrodzka G., Młyniec K., Librowski T. Antioxidant and anti-inflammatory effects of zinc. Zinc-dependent NF-κB signaling // *Inflammopharmacology*, 2017, vol. 25, no. 1, pp. 11-24. <https://doi.org/10.1007/s10787-017-0309-4>
11. Jarvis H., Craig D., Barker R., Spiers G., Stow D., Anstee Q.M., Hanratty B. Metabolic risk factors and incident advanced liver disease in non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD): A systematic review and meta-analysis of population-based observational studies // *PLoS medicine*, 2020, vol. 17(4), e1003100.
12. Королюк, М. А., Иванова, Л. К., Майорова, И. Г., Токарева, В. А. Метод определения активности каталазы // *Лабораторное дело*. 1988. №4. С. 44-47.
13. Lanaspá M.A., Sanchez-Lozada L.G., Choi Y.J., Cicerchi C., Kanbay M., Roncal-Jimenez C.A., ... & Johnson R.J. Uric acid induces hepatic steatosis by generation of mitochondrial oxidative stress: potential role in fructose-dependent and-independent fatty liver // *Journal of Biological Chemistry*, 2012, vol. 287, no. 48, 40732-40744. <https://doi.org/10.1074/jbc.m112.399899>
14. Levine R.L., Garland D., Oliver C.N., Amici A., Climent, I. Determination of carbonyl content in oxidatively modified proteins // *Meth Enzymol*, 1990, vol. 186, pp. 464–478.

15. Lizana P., Galdames M., Rodrigo R. Oxidative stress and endoplasmic reticulum stress as potential therapeutic targets in non-alcoholic fatty liver diseases // *Reactive Oxygen Species*, 2017, vol. 4, no. 10, pp. 266-274. <http://dx.doi.org/10.20455/ros.2017.847>
16. Maiuolo J., Oppedisano F., Gratteri S., Muscoli C., Mollace V. Regulation of uric acid metabolism and excretion // *International journal of cardiology*, 2016, vol. 213, pp. 8-14. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2015.08.109>
17. Miao-Lin H. Measurement of protein thiol groups and glutathione in plasma // *Methods Enzymol*, 1994, vol. 233, pp. 380-383. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(94\)33044-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(94)33044-1)
18. Misra H.P., Fridovich I. The role of superoxide anion in the autoxidation of epinephrine and a simple assay for superoxide dismutase // *Journal of Biological chemistry*, 1972, vol. 247, no. 10, pp. 3170-3175. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)45228-9](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)45228-9)
19. Miyake T., Kumagi T., Furukawa S., Tokumoto Y., Hirooka M., Abe M., Hiasa Y., Matsuura B., Onji M. Non-alcoholic fatty liver disease: Factors associated with its presence and onset // *J. Gastroenterol. Hepatol*, 2013, vol. 28, pp. 71-78. <https://doi.org/10.1111/jgh.12251>
20. Москаленко О. Л., Смирнова О. В., Каспаров Э. В., Каспарова И. Э. Метаболический синдром: оценка качества жизни, уровня тревоги и депрессии у пациентов // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 6, P.11-28.
21. Ohkawa, H., Ohishi, N., & Yagi, K. Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction // *Analytical biochemistry*, 1979, vol. 95, no. 2, pp. 351-358. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(79\)90738-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(79)90738-3)
22. Olechnowicz, J., Tinkov, A., Skalny, A., & Suliburska, J. Zinc status is associated with inflammation, oxidative stress, lipid, and glucose metabolism // *The Journal of Physiological Sciences*, 2018, vol. 68, no. 1, pp. 19-31.
23. Oral, A., Sahin, T., Turker, F., & Kocak, E. Relationship between serum uric acid levels and nonalcoholic fatty liver disease in non-obese patients // *Medicina*, 2019, vol. 55, no. 9, pp. 600. <https://doi.org/10.3390/medicina55090600>
24. Oteiza, P. I. Zinc and the modulation of redox homeostasis // *Free Radic. Biol. Med*, 2012, vol. 53, no. 9, pp. 1748-1759. <https://doi.org/10.1007/s12576-017-0571-7>
25. Prasad, A. S. (Ed.). *Essential and toxic element: trace elements in human health and disease*. Elsevier, 2013.
26. Ravin, H. A. An improved colorimetric enzymatic assay of ceruloplasmin // *The Journal of laboratory and clinical medicine*, 1961, vol. 58, no. 1, pp. 161-168. <https://doi.org/10.5555/uri:pii:0022214361901391>

27. Sies, H., Jones, D. P. Reactive oxygen species (ROS) as pleiotropic physiological signalling agents // *Nature reviews Molecular cell biology*, 2020, vol. 21, no. 7, pp. 363-383. <https://doi.org/10.1038/s41580-020-0230-3>
28. So, A., Thorens, B. Uric acid transport and disease // *The Journal of clinical investigation*, 2010, vol. 120, no. 6, pp. 1791-1799. <https://doi.org/10.1172/jci42344>
29. Song M., Vos M., McClain C. Copper-fructose interactions: a novel mechanism in the pathogenesis of NAFLD // *Nutrients*. 2018; 10: 1815.
30. Tilg H., Effenberger M. From NAFLD to MAFLD: when pathophysiology succeeds // *Nature reviews Gastroenterology & hepatology*, 2020, vol. 17, no. 7, pp. 387-388. <https://doi.org/10.1038/s41575-020-0316-6>
31. Umeki S., Ohga R., Konishi Y., Yasuda T., Morimoto K., Terao A. Oral zinc therapy normalizes serum uric acid level in Wilson's disease patients // *The American journal of the medical sciences*, 1986, vol. 292, no. 5, pp. 289-292. <https://doi.org/10.1097/00000441-198611000-00007>
32. Ushijima Y., Nakano M., Goto T. Production and identification of bityrosine in horseradish peroxidase-H₂O₂-tyrosine system // *Biochemical and biophysical research communications*, 1984, vol. 125, no. 3, pp. 916-918. [https://doi.org/10.1016/0006-291X\(84\)91370-6](https://doi.org/10.1016/0006-291X(84)91370-6)
33. Videla L. A., Rodrigo R., Orellana M., Fernandez V., Tapia G., Quiñones L., ... Poniachik J. Oxidative stress-related parameters in the liver of non-alcoholic fatty liver disease patients // *Clinical science*, 2004, vol. 106, no. 3, pp. 261-268. <https://doi.org/10.1042/CS20030285>
34. Yesilova Z., Yaman H., Oktenli C., Ozcan A., Uygun A., Cakir E., ... Dagalp K. Systemic markers of lipid peroxidation and antioxidants in patients with nonalcoholic fatty liver disease // *Official journal of the American College of Gastroenterology| ACG*, 2005, vol. 100, no. 4, pp. 850-855. <https://doi.org/10.1111/j.1572-0241.2005.41500.x>
35. Zhang Y., Liu Y., Qiu H. Association between dietary zinc intake and hyperuricemia among adults in the United States // *Nutrients*, 2018, vol. 10, no. 5, pp. 568.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Eugenia R. Nikonorova, Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher
All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants (VI-LAR)
7, Grina Str., Moscow, 117216, Russian Federation

Alexandr A. Nikonorov, Doctor of Medical Sciences, Professor, Senior Researcher

*State Research Center of Dermatovenerology and Cosmetology
3 bld. 6, Korolenko Str., 107076, Moscow, Russian Federation*

Elizaveta V. Popova, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Director

St Joseph University in Tanzania; St. Joseph College of Health and Allied Sciences

11007, Dar es salaam, Tanzania

Eduard F. Agletdinov, Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Deputy General Director for Research

Vector-Best

PO BOX 492, 630117, Novosibirsk, Russian Federation

Anton I. Sinitskii, Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Biochemistry named after R.I. Lifshitz

South Ural State Medical University

64, Vorovskogo Str., Chelyabinsk, 454092, Russian Federation

Alexey A. Tinkov, Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher

Yaroslavl State University; I.M. Sechenov First Moscow State Medical University

14, Sovetskaya Str., 14, Yaroslavl, 150000, Russian Federation; 8-2, Trubetskaya Str., Moscow, 119991, Russian Federation

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Никонова Евгения Рамильевна, к.мед.н, ведущий научный сотрудник

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений»

ул. Грина, 7, г. Москва, 117216, Российская Федерация

gatiatulinaer@gmail.com

Никоноров Александр Александрович, д.мед.н., профессор, старший научный сотрудник

ФГБУ Государственный научный центр дерматовенерологии и косметологии

ул. Короленко, 3, стр.6, г. Москва, 107076, Российская Федерация

nikonorov_all@mail.ru

Попова Елизавета Васильевна, к.мед.н, доцент, директор

Университет Св. Джозефа в Танзании; Медицинский колледж Св.

Джозефа

Дар эс салаам, Танзания

elizabeth63.36@gmail.com

Аглетдинов Эдуард Феликсович, д.мед.н., доцент, заместитель генерального директора по научной работе

АО «Вектор-Бест»

Научно-производственная зона, корпус 36, р. п. Кольцово, 630559,

Новосибирская область, Российская Федерация

Синицкий Антон Иванович, д.мед.н., доцент, зав. кафедрой биохимии имени Р.И. Лифшица

ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет»

ул. Воровского, 64, Челябинск, Челябинская обл., 454092, Российская

Федерация

sinitskiyai@yandex.ru

Тиньков Алексей Алексеевич, к.мед.н, ведущий научный сотрудник

ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова; Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

ул. Трубецкая, 8, стр. 2, г. Москва, 119991, Российская Федерация;

ул. Советская, 14, г. Ярославль, 150003, Российская Федерация

Поступила 01.09.2022

Received 01.09.2022

После рецензирования 10.10.2022

Revised 10.10.2022

Принята 13.10.2022

Accepted 13.10.2022

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

AGRICULTURAL SCIENCES

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-141-163

UDC 633.87:632:502



Original article | Plant Protection

**RESEARCH OF THE STATE OF WOODY
AND BRUSHWOOD PLANTS UNDER ANTHROPOGENIC
STRESS CONDITIONS***P.A. Kuzmin, T.V. Skoblikova, S.A. Gorovoy, O.V. Otto*

Objective. The study of anthropogenic impact on environmental components, primarily on woody and shrub plants, which are the main medium-forming element in natural and artificial ecosystems, is relevant. The subject of this study was the ecological and biological state of plants under conditions of technogenic stress.

Materials and methods. The article presents the results of a study of the life state of woody plants. For this, test plots were laid on the territory of sanitary protection zones of industrial enterprises and in the plantings of main plantings. The quantitative content of tannins and polyphenol oxidase in plant leaves during the active growing season was determined by spectrophotometry and titrimetric analysis.

Results. Vitality decreases in the following order: *Betula pendula* Roth. > *Sorbus aucuparia* L. > *Rosa majalis* Herrn. > *Acer negundo* L. > *Tilia cordata* Mill. In plantations of technogenic territories, an increase in damage to the leaf blade is noted, a greater number of dry branches appear in the crown of a tree, compared to the control zone. Thus, in the study area, the lowest life state scores were recorded in *Tilia cordata* Mill., and the highest vital state scores were recorded in silver birch. In mountain ash, wild rose and American maple, the vital state is average. The increase in the activity of polyphenol oxidase was observed in plantations of technogenic territories, which is a consequence of intensive anthropogenic load on woody plants. Increased activity of polyphenol oxidase helps to decrease the content of tannins in plant leaves. *Betula pendula* Roth. *Sorbus aucuparia* L. in the SPZ of industrial enterprises in July, the accumulation of tannins is more intense than in the control plantations.

Conclusion. *Betula pendula* Roth., *Sorbus aucuparia* L. in the SPZ of industrial enterprises in July, the accumulation of tannins is more intense than in the control plantations. Spectrophotometric determination of activity helps to understand the reasons why the content of tannins increases or decreases. This fact indicates the participation of tannins in the complex of adaptive reactions of plants, which are associated with protection from aerogenic pollutants. As a result of the study, the most resistant to anthropogenic stress plant species were identified: silver birch, cinnamon rose, and rowan tree.

Keywords: woody plants; tannins; polyphenol oxidase activity; life state

For citation. Kuzmin P.A., Skoblikova T.V., Gorovoy S.A., Otto O.V. Research of the State of Woody and Brushwood Plants under Anthropogenic Stress Conditions. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 141-163. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-141-163

Научная статья | Защита растений

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО СТРЕССА

П.А. Кузьмин, Т.В. Скобликова, С.А. Горовой, О.В. Отто

Актуальность. Изучение антропогенного воздействия на компоненты окружающей среды, в первую очередь на древесно-кустарниковые растения, которые являются основным средообразующими элементом в естественной и искусственной экосистеме, является актуальным.

Материал и методы. Предметом исследования являлось выявление реакции древесно-кустарниковых растений на условия произрастания в техногенной среде. В статье приведены результаты исследования жизненного состояния древесных растений, особенности динамики содержания метаболитом, участвующих в защите растений от негативных условий произрастания. Методами спектрофотометрии и титриметрического анализа было определено количественное содержание танинов и полифенолоксидазы в листьях растений в течение периода активной вегетации.

Результат. Жизненное состояние снижается в ряду: *Betula pendula* Roth. > *Sorbus aucuparia* L. > *Rosa majalis* Herrn. > *Acer negundo* L. > *Tilia cordata* Mill. В насаждениях техногенных территорий отмечается возрастания поврежденный листовой пластинки, появляется большее количество сухих ветвей в кроне дерева, по сравнению с зоной контроля. Так в зоне исследований наименьшие

баллы жизненного состояния зафиксированы у *Tilia cordata* Mill., а наивысшие баллы жизненного состояния – у березы повислой. У рябины обыкновенной, шиповника майского и клена американского жизненное состояние среднее. Показаны изменения в содержании танинов и активности полифенолоксидазы в листьях исследуемых растений. В насаждениях техногенных территорий отмечено повышение активности полифенолоксидазы, что является следствием интенсивной антропогенной нагрузки на древесные растения. Повышенная активность полифенолоксидазы способствует снижению содержания танинов в листьях растений.

Выводы. У *Betula pendula* Roth., *Sorbus aucuparia* L. в условиях СЗЗ промышленных предприятий в июле накопление танинов идет интенсивнее, чем в контрольных насаждениях. Спектрофотометрическое определение активности помогает понять причины по которым содержание танинов возрастает или уменьшается. Данный факт указывает на участие танинов в комплексе приспособительных реакций растений, которые связаны с защитой от аэрогенных загрязнителей. В результате исследования выявлены наиболее устойчивые к антропогенному стрессу виды растений: *Betula pendula* Roth., *Sorbus aucuparia* L., *Rosa majalis* Herrn.

Ключевые слова: древесные растения; дубильные вещества; активность полифенолоксидазы; жизненное состояние

Для цитирования. Кузьмин П.А., Скобликова Т.В., Горовой С.А., Отто О.В. Исследование состояния древесно-кустарниковых растений в условиях антропогенного стресса // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №1. С. 141-163. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-141-163

Introduction

The rapid growth of industry and the number of vehicles leads to the significant pollution of the natural environment and changes in natural processes in the biosphere. Among the pollutants that are present in the air basin of urbanized areas are such substances as phenol, formaldehyde, benzo (a) pyrene, carbon and nitrogen oxides, hydrogen sulfide, ammonia, and suspended particles. Under conditions of technogenic stress, green plantations are constantly affected by a complex of adverse environmental and anthropogenic factors. Plant organisms are susceptible to environmental factors: abiotic, which include high and low temperatures, illumination, lack or excess of moisture, increased radiation levels, mechanical influences, pollution with salts, xenobiotics (gases, pesticides, industrial waste, heavy metals) and biotic, represented by pathogens: fungi, bacteria, viruses [18; 43; 47; 14; 25; 52; 17; 15; 39; 41; 6; 33].

Plants have enzymatic and non-enzymatic systems with antioxidant properties that can inhibit or eliminate the effects of negative substances. These systems provide comprehensive protection of biological polymers from reactive oxygen species [42; 13; 32; 52; 17; 39; 4; 21; 20; 34].

Thus under the conditions of the urban ecosystem of Delhi, using the example of the usual Indian roadside tree Nim (*Azadirachta indica*), showed an increase in secondary metabolites, including tannins [46].

Large industrial regions include a combination of certain natural and climatic conditions and a peculiar type of farming, which attract attention from an ecological point of view. The totality of the problems of such regions is associated with a high concentration of population, transport and a large number of industrial facilities. Technogenic territories are in a state of ecological imbalance. There is an accumulation of environmental debt due to the formation of toxic waste that enter the atmosphere, water and terrestrial ecosystems. The whole complex of environmental problems has an extremely negative effect on living systems. The growth of the city leads to a reduction in clean air, water, green space. Great damage is observed in areas where the natural environment shows low activity in self-purification from technogenic pollutants [52; 17; 39; 48; 22; 24].

For example, in the work of Z. Li, J. Yang, B. Shang, et al [28; 30]. Showed that elevated O₃ levels alter the leaflet chemical profile of hybrid poplar, affecting the accumulation of foliar nitrogen, carbohydrates, and lignin. Meanwhile, the effects of increased O₃ in foliar phytochemicals, especially carbohydrates and lignin, were improved by lowering soil water content, but not by N supplementation. Graphical vertical analysis has shown that popular strategies to increase its resistance to elevated O₃ and water scarcity may include increasing nitrogen absorption or resorption, accelerating starch mobilization, and enhancing lignin synthesis. Reactions of foliar chemistry to increased O₃ content and its interaction. Under water scarcity, the need to study the impact of environmental changes on phytochemistry, which can affect the processes of forest ecosystems, especially in multifactorial conditions, is emphasized, in order to optimize plantation management in accordance with future changes.

The results of their influence are a violation of the phenological growth and development rhythms, the formation and functioning of vegetative organs, and a decrease in plant productivity. Plantations of anthropogenic territories have reduced resistance to extreme conditions. The organization of green plantations is of particular importance in the process of technogenic territory optimization [27; 3; 44; 22; 21; 31; 50; 36].

For the optimal selection of the assortment of green plantations, it is necessary to study the biocological state of various types of woody and brushwood plants

thoroughly. For example, woody plants widely used in landscaping urbanized areas, such as *Tilia cordata* Mill., *Acer platnoides* L., *Populus balsamifera* L., *Betula pendula* Roth., *Malus baccata* (L.) Borkh., *Sorbus aucuparia* L. To perform this task, it is necessary to have an understanding of the adaptation mechanisms of various plant species at the physiological and biochemical levels. For example: the quantitative content of low molecular weight (ascorbic acid, tannins) and high molecular weight (peroxidase, polyphenol oxidase and ascorbate oxidase activity) substances in the leaves of *Betula pendula* Roth. Growing in main plantings, plantings of sanitary protection zones of industrial enterprises. To do it, it is necessary to know the quantitative content of low-molecular and high-molecular compounds in plant leaves. Ascorbic acid is a representative of secondary metabolites that reflect the level of synthetic processes in plants. In the work of E. Yu. Kolmogorova [25] showed that in individuals of silver birch, the maximum content of ascorbic acid in the leaves was noted in July, and the minimum in August, regardless of the growth zone. It should be noted that the content of ascorbic acid in the plants of the control plantations was higher during the entire growing season. Many substances take part in plant adaptation, including condensed tannins and the polyphenol oxidase enzyme, which is the subject of this research work [8; 10; 22; 38].

The scientific novelty of the study lies in the use of an approach to assess the productivity of artificial plantings based on the identification of the joint functioning of high-molecular and low-molecular compounds of the antioxidant protection system in the studied woody plants.

This research aimed to study the ecological and biological features of woody and brushwood plants in an anthropogenic environment (through the example of the Kama economic region, the Republic of Tatarstan, Russia).

The aim of the study is to study the bioecological and biochemical features of the functioning of woody and shrubby plants in an anthropogenic environment in order to identify the most adapted species and form the scientific basis for the selection of species composition for the preservation of plantings of various functional purposes (on the example of the Kama Economic District, the Republic of Tatarstan, Russia).

Theoretical Analysis

In an urbanized environment, various metabolites – enzymes, tannins, and ascorbic acid – participate in the formation of adaptive plant reactions. In recent years, tannins and ascorbic acid are considered by scientists as important elements of the antioxidant defense system in woody plants under conditions of technogenic stress. Exposure to various air pollutants leads to numerous changes not only in the metabolic profile of trees but also in their symbiont activity [8; 2; 45; 51].

One of the important enzymes involved in plant respiration is copper-containing polyphenol oxidase, which in turn shows the level of hypoxia. Higher activity of polyphenol oxidase contributes to the neutralization of anthropogenic pollutants [26; 7].

In the works of scientists, a specific reaction of poplars and tea trees under stress conditions was revealed, which manifests itself in an increase in the activity of antioxidant enzymes and a decrease in the content of proline and abscisic acid. [13; 23; 28; 49].

The antimicrobial effects of tannins may also be important in protecting plants from pathogens, although evidence of this is scarce - the induction of CT biosynthesis in *M. medusae*-infected poplar leaves is the first indication that CTs are potential anti-pathogenic compounds in poplar. This hypothesis is supported by the fact that the high tannin *P. tremuloides* genotypes are more resistant to late blight in leaves. However, this correlation needs to be verified directly. In addition, it is possible that in some plants tannins play a role in protection against abiotic stresses such as aluminum toxicity [5].

Many studies indicate the relationship between the adaptive capabilities of the plant organism and the functioning of the enzymatic system, including the copper-containing enzymes of polyphenol oxidase and ascorbate oxidase. These enzymes, in combination with phenolic substrates, are involved in the respiration process. In damaged plant tissues, when exposed to low temperatures, the activity of polyphenol oxidase increases. Technogenic pollution of the environment leads to an increase in the activity of this enzyme. In addition, polyphenol oxidase is involved in the regulation of metabolism during ontogenesis and adaptive reactions to negative environmental factors [16; 22; 21].

Among substances involved in plant resistance, much attention is paid to secondary metabolites, including phenolic compounds. They include tannins, which affect the growth and development of plants, phenols involved in the transport of electrons during respiration and photosynthesis, in lignin biosynthesis, and provide non-enzymatic oxidation of some compounds (amino acids, ascorbic acid, cytochromes, etc.). Phenolic compounds in the plant cell can play a significant role in plant adaptation to various stress factors [19; 53; 10; 29; 30].

Analysis of the biochemical and histoanatomical properties of species from various polluted and unpolluted areas of the Suceava district of Romania led to the following results: the range of antioxidant responses to the conditions of pollution from the Calimani, Tarnitsa and Krucha-Botusana mountains was different depending on the type of polluting interference in the environment. The highest reactivity of the antioxidant defense system was revealed under the action of U in all stud-

ied species in the Krusea-Botushan area, with the exception of *Salix alba* for turf and *Populus tremula* for POX. SOD, CAT, POX were positively stimulated by all types of contamination, and the level of enzymatic activity exceeded the level of enzymatic activity of leaf material collected from species in the control area [9].

A study on plants *Taraxacum officinale*, *Plantago lanceolata*, *Betula pendula*, and *Robinia pseudoacacia* growing in urban biotopes with different levels of heavy metal pollution in the city of Dabrowa Gornicza (southern Poland) showed a tendency towards an increase in proline content in biotopes associated with high permeability. A similar trend was observed for the content of ascorbic acid in plant foliage, as well as in *T. officinale* in plantings associated with industrial emissions. The content of non-protein thiols increased, especially in the leaves of *R. pseudoacacia* in biotopes with high transport emissions, as well as in *T. officinale* in industrial plantations. The average values of APTI (air pollution resistance index) within the city of Dabrowa Gornicza for the studied plants were found in the following order of increasing *P. lanceolata* < *R. pseudoacacia* < *B. pendula* < *T. officinale*. *B. pendula* plants may be considered suitable plants in urban areas with significant soil and air pollution, especially heavy metals, are suitable plants in containment zones for air pollution control [40; 35].

Synergistic effects were assessed by plant exposure to high O₃ concentrations in an urban site in the city of São Paulo. Confocal, wide-field and light microscopy were used to study the occurrence and characteristics of polyphenols. The spatial pattern of the distribution of polyphenols in plant leaves is subordinate to the synergism of the state in which the dense vacuolar aspect is the target of a cell doomed to death, was also observed in constitutive secretory cells before lysis. This similar structural pattern may be a case of homologous processes involving both constitutive (secretory ducts) and induced (photosynthetic cells) defenses [12].

Various studies have shown an increase in the content of condensed tannins and peroxidase activity in leaves and needles of plants from urban areas. Therefore, these biochemical parameters can be used as potential biomarkers of tree stress [1].

Materials and Methods

The Kama region of the Republic of Tatarstan is an example of a territory with a high degree of anthropogenic impact. This region includes four closely located cities with developed industry: Naberezhnye Chelny, Nizhnekamsk, Mendeleevsk, and Yelabuga. In Naberezhnye Chelny there are large automobile factories Kamaz and Solers-Naberezhnye Chelny; Special economic zone “Alabuga”; Chemical plant them. L. Ya. Karpova (Mendeleevsk); plant for the production of mineral fertilizers “Mendeleevskazot”; Oil refineries “TAIF-NK”, “Nizhnekamskneftkhim”, “Nizhnekamskshina”.

3.1. Period and Samples (plants).

The research was conducted during the vegetation period (June, July, August) in 2017–2019. The study was concerned with woody and brushwood plants widely used for the forestry of Yelabuga, which grow in various ecological categories of green plantations: trunk plantations (Mira Avenue), buffer zone (near the territory of the “Alabuga” SEZ enterprises), and conventional control zone (Alexandrovsky Park). The plants selected for the study were: small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.), rowan tree (*Sorbus aucuparia* L.), cinnamon rose (*Rosa majalis* Herrn.), silver birch (*Betula pendula* Roth.), and ash-leaved maple (*Acer negundo* L.). These types of trees are widely distributed in the forestry of cities in the Kama region. Below are photographs of the research objects, the authors of which are the team of the article (Figure 1-5). The full species composition of the investigated plantations is presented in the table 1.

Table 1.

Species composition of the studied plantations

| Plantation type | Type of a brushwood plant | Number of individuals, pieces | Number of individuals, % |
|---|----------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| conventional control zone (Alexandrovsky Park) | <i>Tilia cordata</i> Mill. | 47 | 43,9 |
| | <i>Acer platnoides</i> L. | 37 | 34,5 |
| | <i>Picea abies</i> L. | 4 | 3,7 |
| | <i>Betula pendula</i> Roth. | 19 | 17,9 |
| | | 107 | 100 |
| buffer zone (near the territory of the “Alabuga” SEZ enterprises) | <i>Betula pendula</i> Roth. | 19 | 18,4 |
| | <i>Acer platnoides</i> L. | 25 | 24,3 |
| | <i>Populus balsamifera</i> L. | 16 | 15,5 |
| | <i>Acer negundo</i> L. | 12 | 11,7 |
| | <i>Picea abies</i> L. | 4 | 3,9 |
| | <i>Malus baccata</i> (L.) Borkh. | 3 | 2,9 |
| | <i>Tilia cordata</i> Mill. | 24 | 23,3 |
| | 103 | 100 | |
| trunk plantations (Mira Avenue) | <i>Tilia cordata</i> Mill. | 38 | 34,2 |
| | <i>Acer platnoides</i> L. | 15 | 13,5 |
| | <i>Populus balsamifera</i> L. | 13 | 11,7 |
| | <i>Acer negundo</i> L. | 9 | 8,1 |
| | <i>Betula pendula</i> Roth. | 14 | 12,6 |
| | <i>Ulmus laevis</i> Pall. | 1 | 0,9 |
| | <i>Sorbus aucuparia</i> L. | 5 | 4,5 |
| | <i>Malus baccata</i> (L.) Borkh. | 16 | 14,4 |
| | | 111 | 100 |



Figure 1. *Tilia cordata* Mill.



Figure 2. *Sorbus aucuparia* L.



Figure 3. *Rosa majalis* Herrm.



Figure 4. *Betula pendula* Roth.



Figure 5. *Acer negundo* L.

3.2. Experimental studies

Samples were collected in the middle of the month, simultaneously from all sample plots. Sample collection time from 10:00 to 12:00. The samples were packed in special bags and quickly transported to the laboratory. In laboratory conditions, the activity of the enzyme was determined. Part of the material was left to dry naturally, excluding direct sunlight. Then weighed samples were prepared and the quantitative content of tannins was determined.

The life state of woody plants was determined visually by the degree of damage to the assimilatory apparatus and plant crowns [37]. The content of tannins in the leaves was determined by the titrimetric method. The polyphenol oxidase activity was determined by the spectrophotometric method, which is based on the optical density measurement of resultant products formed as a result of pyrocatechol oxidation during a particular period.

3.3. Description of research methods

For the experiments, the authors used 1/15 M phosphate buffer with a pH of 7.4; 0.05 M pyrocatechol solution; polyamide in a ratio of approximately 1:1 to the fresh weight subsample [11]:

The subsample of leaves of the studied plants weighing 100 mg was ground in a mortar with 100 mg of ready-made polyamide, with the addition of some buffer solution. Next, the resulting mass was transferred to a measuring flask at

25 cm³ and the buffer solution was added to the mark. The mixture was centrifuged at 4000 rpm for 10 minutes. Further on, 0.5 cm³ of the enzymatic extract, 2.0 cm³ of the phosphate buffer with a pH of 7.4, and 0.5 cm³ of the pyrocatechol solution were added to the experimental cuvette of the spectrophotometer. The same mixture was added to the control cuvette, only pyrocatechol was replaced with 0.5 cm³ of distilled water. The first measurement was performed after 20 seconds. Values were recorded every 20 seconds for 3 minutes.

The optical density was measured at 420 nm. The enzyme activity was expressed in relative units per 1 g of fresh weight. The polyphenol oxidase activity was calculated by the formula:

$$A = \frac{(D_2 - D_1) \cdot 60V \cdot V_2}{(t_2 - t_1) \cdot V_1 \cdot H},$$

where D_1 – the optical density of the solution at the beginning of the experiment (the first measurement);

D_2 – the optical density of the solution at the end of the experiment;

t_1 and t_2 – the time at the beginning and end of the experiment, s;

S_s – the weight of the subsample, g;

V – the total volume of the enzymatic extract, cm³;

V_1 – the volume taken for the reaction, cm³;

V_2 – the total volume of liquid in the cuvette, cm³;

60 – the coefficient for converting seconds to minutes.

The content of tannins was determined with the help of the permanganate metrical method (Leventhal method modified by Kursanov). For the experiments, the authors used: indigo carmine solution; 0.05 n solution of KMnO_4 ; distilled water.

To prepare the extract, the leaves of woody plants were crushed into pieces of 0.3–0.5 cm. Then, 0.5–2 g of crushed leaves were weighed (exact weight) and placed in a conical flask with a capacity of 100 ml. Then, 50 ml of boiling distilled water was poured and heated in a water bath for 30 minutes.

Further on, the resulting extract was carefully filtered through cotton wool into a 250 ml measuring flask, so that the raw material particles did not get on the cotton wool. The flask with raw material was re-filled with boiling distilled water (50 ml), heated in a water bath for 10–15 minutes, and the liquid was also filtered into the same 250 ml measuring flask.

Then, the liquid in the measuring flask was cooled and the volume of the extract was brought to the mark with water. Next, 10 ml of the resulting liquid was placed in a conical flask with a capacity of 100 ml; 75 ml of water and 3 ml of indigo carmine solution were added. After that, 0.05 n KMnO_4 was titrat-

ed to a golden yellow color. One milliliter of 0.05 n KMnO_4 corresponds to 0.0020785 g of tannin substances in terms of tannin.

At the same time, a control experiment was conducted by titrating 3 ml of indigo carmine in 85 ml of water.

The percentage of tannin substances (x) was calculated by the following formula:

$$x = ((V_2 - V_1) \cdot K \cdot D \cdot V \cdot 100 \cdot 100) / m \cdot V_3 \cdot (100 - W);$$

where D – the conversion factor to tannin: for hydrolyzable tannin substances – 0.0020785; for condensed tannin substances – 0.00291;

m – the weight of the subsample, g;

K – correction for titration;

V – the total volume of extract, ml;

V_1 – the volume of 0.05 n KMnO_4 used for control titration, ml;

V_2 – the volume of 0.05 n KMnO_4 used for titration, ml;

V_3 – the volume of the extract taken for titration, ml;

W – water content of raw material, %.

To prepare a buffer in 1 liter of distilled water, mix solutions of $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - 11.876 g and KH_2PO_4 - 9.078 g. The ratio between the solutions is as follows: $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - 81.8 ml. and KH_2PO_4 - 18.2 ml.

Since the number of equivalents for potassium permanganate is 1, the normal concentration of the solution is equal to the molar concentration. We consider the mass of potassium permanganate knowing that it is 0.05 mol $m = n \cdot M = 0.05 \cdot 158 = 7.9$ grams. This means that to prepare such a solution, you need to take 7.9 grams of potassium permanganate, pour it into a liter or more flask and add water to the 1 liter mark [11].

3.4. Mathematical processing of results.

The analyses were performed at the Biology and Chemistry Department of the Mathematics and Natural Sciences Faculty of the Yelabuga Institute of Kazan Federal University.

Samples of the middle leaves of model trees were taken for laboratory biochemical analyses. Mathematical processing of the materials was performed using the statistical package Statistica 10. To interpret the obtained materials, the authors used methods of descriptive statistics and variance multiple factor analysis (using a cross-hierarchical scheme, with the subsequent evaluation of differences using the LSD-test multiple comparison method).

Results and Discussion

The climate is moderately continental, characterized by warm summers and moderately cold winters. The annual rainfall in the city averages 555 mm.

The warmest month of the year is July (+18...+20° C), the coldest is January (-13...-14° C).

The conducted agrochemical analysis showed that the soils in the plantations of conditional control zones have a neutral and slightly alkaline reaction, the content of organic matter from low to medium, the content of mobile phosphorus and exchangeable potassium from elevated to very high. The soils also have a high content of nitrate forms of nitrogen and a low content of ammonium forms of nitrogen.

In the main plantings, the soils had an alkaline reaction, a low content of organic matter at the level of 1.6%; from low to medium content of ammonium nitrogen (5.2-8.4 mg/kg), nitrate nitrogen (27-162) and mobile phosphorus ($P_2O_5 = 27.1-50.2$ mg/kg); from high to very high content of exchangeable potassium ($K_2O = 209-311$ mg/kg).

Weather conditions of vegetation periods are relatively stable and have a fairly favorable effect on the life of plants.

Urban vegetation indicates the state of the environment. Therefore, urban forestry requires species that can be tolerant of the maximum anthropogenic loads.

To determine the life state of woody plants, the authors used Nikolaevsky's scale (1999). This scale was based on the sensitivity of the assimilation apparatus.

The resulting data is shown in Figure 6.

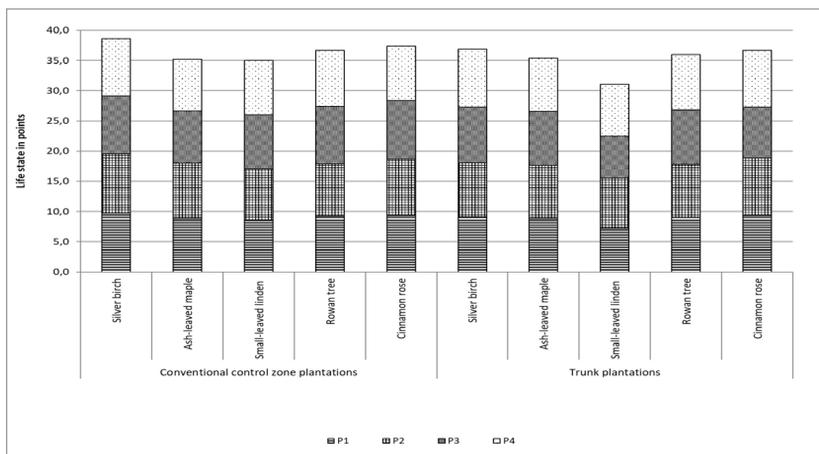


Figure 6. Life state of brushwood plants in different functional zones.

P1 – the number of live branches in tree crowns; P2 – foliage degree of crowns;

P3 – the number of live (without necrosis) leaves in crowns;

P4 – live leaf average square.

Native small-leaved linden is used in the forestry of cities in the Kama region. The life state of the studied individuals in all the studied zones is satisfactory (35 points). The foliage of trees is average and significant damages (necrosis) on the leaf blade are observed.

Rowan tree is widely used in urban forestry, especially in trunk plantations. The life state in the study areas is good (38 points). Damages of the leaf blade were almost not observed.

Silver birch is widely used in urban forestry as well, especially in trunk plantations and parks. The life state in the study areas is excellent (39-40 points). Damages of the leaf blade were not observed.

The life state of the ash-leaved maple in all the studied zones is satisfactory (34-35 points).

Cinnamon rose is used moderately in urban forestry. The life state in all the studied zones is good (38 points). Some insignificant damages (necrosis) of the leaf blades are observed. The foliage is medium.

During the study, it was found that the number of individuals with excellent and good state decreased, and the number of dried out plants increased in the areas with the intense anthropogenic load.

The lowest points of life state in urban plantations were revealed for small-leaved linden (31 points), and the highest points of life state – for silver birch (38 points). Rowan tree, cinnamon rose, and ash-leaved maple have an average life state (36-37 points).

Analysis of the study results showed that the activity of polyphenol oxidase in plant leaves was influenced by species features (significance level $P=1.93 \cdot 10^{-5}$), their growth conditions ($P=1.21 \cdot 10^{-5}$), and the interaction of species features and their growth conditions ($P=1.54 \cdot 10^{-5}$). The table 2 shows the activity of polyphenol oxidase and tannin content in plant leaves.

The maximum amount of tannins in leaves was observed in August for silver birch in the buffer zone (9.24 mg/g of dry matter) and rowan tree in the trunk plantations (9.39). In the conditions of the sanitary protection zone and main plantings in June, the quantitative content of tannins in the leaves was higher than in the control, respectively: in drooping birch by 0.69 and 0.68 mg / g dry things, in common mountain ash by 0.18 and 0.45, in May rosehip by 0.25 and 0.47. This trend continued in July and August. The small-leaf linden had differences in the content of tannins. Thus, the content of tannins in the leaves of plants growing in a technogenic environment was lower than in plants of the control zone: in June by 1.04 and 1.13, in July in the sanitary protection zone by 0.49 and in August by 1, 57 and 0.95 mg / g dry things.

Table 2.

Polyphenol oxidase activity and tannin content in plant leaves of various functional zones (Kama industrial region, Republic of Tatarstan, Russia)

| Type of a brushwood plant | Plantation type | Polyphenol oxidase activity, activity units | | | Condensed tannins, mg/g of dry matter | | |
|-----------------------------|------------------|---|------|--------|---------------------------------------|------|--------|
| | | June | July | August | June | July | August |
| <i>Betula pendula</i> Roth. | CCZ ¹ | 1.12 | 3.18 | 2.77 | 4.13 | 6.76 | 8.13 |
| | BZ ² | 1.03 | 2.32 | 3.63 | 4.82 | 7.17 | 9.24 |
| | TP ³ | 1.18 | 2.42 | 3.31 | 4.81 | 6.83 | 8.84 |
| <i>Tilia cordata</i> Mill. | CCZ | 1.08 | 3.73 | 2.81 | 3.26 | 4.67 | 7.69 |
| | BZ | 1.17 | 3.85 | 3.11 | 2.22 | 4.18 | 6.12 |
| | TP ³ | 2.16 | 4.39 | 4.37 | 2.13 | 4.89 | 6.74 |
| <i>Sorbus aucuparia</i> L. | CCZ | 1.94 | 3.72 | 3.61 | 5.17 | 6.39 | 8.88 |
| | Buffer zones | 1.66 | 3.95 | 3.71 | 5.35 | 6.83 | 8.99 |
| | TP | 1.96 | 3.31 | 3.81 | 5.62 | 6.98 | 9.39 |
| <i>Rosa majalis</i> Herrn. | CCZ | 0.91 | 2.99 | 3.79 | 5.49 | 6.91 | 7.11 |
| | Buffer zones | 1.22 | 3.72 | 4.41 | 5.74 | 6.94 | 7.64 |
| | TP | 1.32 | 4.17 | 6.21 | 5.96 | 7.33 | 8.43 |
| LSD ₀₅ | | 0.07 | | | 0.05 | | |

Notes: CCZ¹ – conventional control zone (Alexandrovsky Park); BZ² – buffer zone (near the territory of the “Alabuga” SEZ enterprises); TP³ - trunk plantations (Mira Avenue)

All the studied species showed an increase in the tannins content by the end of the growing season, and a greater increase was observed in individuals growing under technogenic stress. Activation of the synthesis of condensed tannins is a protective adaptive reaction of the studied plant species, which allows compensating for the negative impact of pollutants in the air. The accumulation of tannins in the leaves of silver birch, rowan tree, and cinnamon rose is more intense than in the plants of the control zone.

The polyphenol oxidase enzyme takes part in the synthesis of tannins, so it is important to know its activity during the growing season. In August, the enzyme activity of silver birch was higher by 0.86 and 0.56 in the buffer zones and trunk plantations, compared to the control zone. For silver birch, high activity of polyphenol oxidase was observed in July in the buffer zones, in July and August near trunk road plantations. Among the studied plants, the maximum activity was observed for cinnamon rose in August in the trunk plantations (6.21 activity units).

In the small-leaved linden in a technogenic environment, the activity of polyphenol oxidase was higher compared to the activity of this enzyme in plants

of the control zone: in the sanitary protection zone: in June by 0.09 units of act., In July by 0.12, in August by 0.30; in the main plantings: in June by 1.08, in July by 0.66, in August by 1.56. Analyzing the dynamics by months, it can be noted that the activity of polyphenol oxidase increases from June to July, regardless of the growing zone and in all studied plant species. Further, a similar trend persists for plants under conditions of technogenic stress.

Thus, it can be said that the activity of polyphenol oxidase increases in the second half of the vegetation and under the conditions of intensive technogenic load.

Conclusions

Studies show that the best life state is observed in silver birch, May rose and common mountain ash, small-leaved linden plants in a technogenic environment have a severely damaged leaf blade. The content of condensed tannins and the activity of polyphenoloxidase in plant leaves are species-specific, with a dynamic tendency to increase the content by the end of the growing season.

For urban forestry, the types of woody plants that are most resistant to gases and other pollutants should be considered, such as silver birch, cinnamon rose, and rowan tree.

Thus, the increased activity of polyphenol oxidase contributes to a decrease in the tannin content in plant leaves. This fact indicates the participation of tannins in the complex of adaptive reactions of plants, which are associated with protection from aerogenic pollutants.

Acknowledgments. The work was carried out on the topic of State Assignment No. FNFE-2020-0004 “Formation of polyfunctional cluster dendrological expositions and their renovation into bioresource artificial and green landscape spaces of a recreational type in sparsely forested regions of Russia” (Registration number: 121041200195-4) funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation Federations.

References

1. Afanasyeva L.V., Ayushina T.A. Accumulation of heavy metals and biochemical responses in Siberian larch needles in urban area. *Ecotoxicology*, 2019, no. 28, pp. 578–588.
2. Ahmed M.R., Anis M. Changes in activity of antioxidant enzymes and photosynthetic machinery during acclimatization of micropropagated *Cassia alata* L. plantlets. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*, 2014, vol. 50, pp. 601-609.

3. Avdeev Y.M., Gorovoy S.A., Karpenko E., Kudryavtsev V., Kozlovsky L. Evaluation of the state of green plants under the conditions of urbanization. [Avaliação do estado das plantas verdes sob as condições de urbanização] *Periodico Tche Quimica*, 2020, vol. 17(34), pp. 966-975.
4. Baiocchi J.T.K., Cunha B.M.M. Effects of nutrient addition on polyphenol and nutrient concentrations in leaves of woody species of a savanna woodland in Central Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 2019, no. 35, pp. 288-296.
5. Barbehenn R.V., Constabel C.P. Tannins in plant–herbivore interactions. *Phytochemistry*, 2011, no. 72, pp.1551–1565.
6. Besson M., Feeney W. E., Moniz I., François L., Brooker R. M., Holzer G., Lecchini D. Anthropogenic stressors impact fish sensory development and survival via thyroid disruption. *Nature Communications*, 2020, vol. 11(1). [https://doi:10.1038/s41467-020-17450-8](https://doi.org/10.1038/s41467-020-17450-8)
7. Bouchoukh I., Hazmoune T., Boudelaa M. Anticholinesterase and antioxidant activities of foliar extract from a tropical species: *Psidium guajava* L. (Myrtaceae) grown in Algeria. *Current Issues in Pharmacy and Medical Sciences*, 2019, no. 3, pp. 160–167.
8. Bukharina I.L., Kuzmin P.A., Sharifullina A.M. The content of low molecular weight organic compounds in tree leaves under technogenic loads. *Forestry*, 2014, no. 2, pp. 20–26.
9. Ciornea E., Boz I., Ionel E. et al. The biochemical and histoanatomical response of some woody species to anthropic impact in Suceava County, Romania. *Turkish Journal of Biology*, 2015, no. 39, pp. 624-637.
10. Ekkal G., Shailesh K., Quraishi A. Effect of exogenous additives on oxidative stress and defense system of a tree: *Zanthoxylum armatum* DC. under in vitro conditions. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 2020, no. 140, pp. 671–676.
11. Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Yarosh N.P., Peruvian Yu.V., Lukovnikova G.A., Ikonnikova M.I. Determination of the activity of polyphenol oxidase and ascorbate oxidase. *Biochemical research methods of plants*. 1987. L., pp. 48-51.
12. Fernandes F.F., Cardoso-Gustavson P., Alves E.S. Synergism between ozone and light stress: structural responses of polyphenols in a woody Brazilian species. *Chemosphere*, 2016, no. 155, pp. 573-582.
13. Garcia D.E, Glasser W.G., Pizzi A., Paczkowski S.P., Laborie M.P. Modification of condensed tannins: from polyphenol chemistry to materials engineering. *New Journal of Chemistry*, 2016, vol. 1, pp. 234–242.
14. Gholizadeha J., Sadeghipoura H.R., Abdolzadeha A. Redox rather than carbohydrate metabolism differentiates endodormant lateral buds in walnut cultivars with contrasting chilling requirements. *Scientia Horticulturae*, 2017, no. 225, pp. 29–37.

15. Grigorievich B.A., Olegovna D.K., Yurievich A.V. Methods for calculating rectangular section beams made of wood and concrete. *Journal of Applied Engineering Science*, 2021, vol. 19(4), pp. 1035-1039. <https://doi:10.5937/jaes0-34494>
16. Gill S.S., Tuteja N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2010, vol. 48(12), pp. 909-930. <https://doi:10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
17. Gowda J.H., Palo R.T., Udén P. Seasonal variation in the nutritional value of woody plants along a natural gradient in Eastern Africa. *African Journal of Ecology*, 2019, vol. 57(2), pp. 226-237. <https://doi:10.1111/aje.12583>
18. Hattenschwiler S. The role of polyphenols in terrestrial ecosystem nutrient cycling. *Trends in Ecology and Evolution*, 2000, vol. 15, pp. 238–243.
19. Hattas D., Julkunen-Tiitto R. The quantification of condensed tannins in african savanna tree species. *Phytochemistry Letters*, 2012, vol. 5(2), pp. 329-334. <https://doi:10.1016/j.phytol.2012.02.013>
20. Hyder P.W., Fredrickson E.L., Estell R.E. Distribution and concentration of total phenolics, condensed tannins, and nordihydroguaiaretic acid (NDGA) in creosotebush (*Larrea tridentata*). *Biochemical Systematics and Ecology*, 2020, no. 30, pp. 905-912.
21. Iqbal S., Xu J., Allen S.D., Khan S., Nadir S., Arif M.S., Yasmeen T. Unraveling consequences of soil micro- and nano-plastic pollution on soil-plant system: Implications for nitrogen (N) cycling and soil microbial activity. *Chemosphere*, 2020, vol. 260. <https://doi:10.1016/j.chemosphere.2020.127578>
22. Kalugina O.V., Shergina O.V., Mikhailova T.A. Ecological condition of natural forests located within the territory of a large industrial center, Eastern Siberia, Russia. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, vol. 27(18), pp. 22400-22413. <https://doi:10.1007/s11356-020-08718-z>
23. Kloseiko J. Cupric ferricyanide reaction in solution for determination of reducing properties of plant antioxidants. *Food analytical methods*, 2016, vol. 9, pp. 164–177.
24. Kraev V., Tikhonov A., Kuzmina-Merlino I. Economic and ecological aspects of the use of new cryogenic aviation fuels. *Journal of Applied Engineering Science*, 2022, vol. 20(2), pp. 351-357. <https://doi:10.5937/jaes0-31570>
25. Kolmogorova E.Yu. Morphophysiological assessment of the state of silver birch (*Betula pendula* Roth.), Growing under the conditions of the waste dump of the Kedrovsky coal mine. *Bulletin of KrasGAU*, 2017, no. 6, pp. 135-140.
26. Kuzmin P.A., Nosyreva E.V. Study of the content of ascorbic acid and the activity of copper-containing enzymes in the leaves of mountain ash in the Kama region. *Perm University Bulletin. Biology series*, 2017, no. 1, pp. 88-92.

27. Kutafina N.V., Krasnopivtseva A.N. Physiological foundations of adaptation of plant organisms in an urbanized environment. *Bulletin of RUDN. Series: ecology and life safety*, 2017, no. 1, pp. 21–28.
28. Li X., Yang Y.Q., Sun X.D., Lin H.M., Chen J.H., Ren J., Hu X.Y., Yang Y.P. Comparative physiological and proteomic analyses of poplar (*Populus yunnanensis*) plantlets exposed to high temperature and drought. *Plos one*, 2014, vol. 9, pp. 100–108.
29. Li M., Zhou Y., Wang Y., Singh V. P., Li Z., Li Y. An ecological footprint approach for cropland use sustainability based on multi-objective optimization modelling. *Journal of Environmental Management*, 2020, vol. 273. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111147>
30. Li Z., Yang J., Shang B. Water stress rather than N addition mitigates impacts of elevated O₃ on foliar chemical profiles in poplar saplings. *Science of the Total Environment*, 2020, vol. 707. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135935>
31. Martirosyan A.V., Ilyushin Y.V., Afanaseva O.V. Development of a distributed mathematical model and control system for reducing pollution risk in mineral water aquifer systems. *Water (Switzerland)*, 2022, vol. 14(2). <https://doi.org/10.3390/w14020151>
32. Maiti R., Rodriguez H.G., Sarkar N.C., Kumari A. Biodiversity in Leaf Chemistry (Pigments, Epicuticular Wax and Leaf Nutrients) in Woody Plant Species in North-eastern Mexico, a Synthesis. *Forest Resources*, 2016, vol. 5, pp. 170–176.
33. Megía-Palma R., Arregui L., Pozo I., Žagar A., Serén N., Carretero M.A., Merino S. Geographic patterns of stress in insular lizards reveal anthropogenic and climatic signatures. *Science of the Total Environment*, 2020, vol. 749. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141655>
34. Misanovic S. MIRCE Science approach to maintenance of microbial contamination of fuel tanks in COVID-19 grounded aircraft. *Journal of Quality and System Engineering*, 2022, vol. 1, no. 1, pp. 19–25.
35. Movchan I.B., Shaygallyamova Z.I., Yakovleva A.A., Movchan A.B. Increasing resolution of seismic hazard mapping on the example of the north of middle Russian highland. *Applied Sciences (Switzerland)*, 2021, vol. 11(11). <https://doi.org/10.3390/app11115298>
36. Mustafin A. Coupling-induced oscillations in two intrinsically quiescent populations. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2015, vol. 29(1-3), pp. 391–399. <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2015.05.019>
37. Nikolaevsky V.S., Nikolaevsky N.G., Kozlova E.A. Methods for assessing the state of woody plants and the degree of influence of unfavorable factors on them. *Forest Bulletin*, 1999, no. 2 (7), pp. 76–77.

38. Nikulin A.N., Dolzhikov I.S., Klimova I.V., Smirnov Y.G. Assessment of the effectiveness and efficiency of the occupational health and safety management system at a mining enterprise. *Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti*, 2021, vol. 2021(1), pp. 66-72. <https://doi:10.24000/0409-2961-2021-1-66-72>
39. Nunes M.H., Both S., Bongalov B., Brelsford C., Khoury S., Burslem D.F. et al. Changes in leaf functional traits of rainforest canopy trees associated with an el nino event in borneo. *Environmental Research Letters*, 2019, vol. 14(8). <https://doi:10.1088/1748-9326/ab2eae>
40. Nadgorska-Socha A., Kandziora-Ciupa M., Trzesicki M. et al. Air pollution tolerance index and heavy metal bioaccumulation in selected plant species from urban biotopes. *Chemosphere*, 2017, no. 183, pp. 471-482.
41. Nguyen, T., Le, H. Structural fuzzy reliability analysis using the classical reliability theory. *Journal of Applied Engineering Science*, 2021, vol. 19(4), pp. 1074-1082. <https://doi:10.5937/jaes0-30656>
42. Pachzkowska M., Kozłowska M., Golinski P. Oxidative stress enzyme activity in Lemnabion L. exposed to cadmium and lead. *Acta Biologica Cracoviensia. Ser. Botanica*, 2007, vol. 49, pp. 33-37.
43. Polovnikova M.G., Voskresenskaya O.L. Activity of antioxidant defense and polyphenol oxidase components in lawn plants during ontogenesis in urban environment. *Plant Physiology*, 2008, vol. 55, no. 5, pp. 777-786.
44. Rout P.R., Zhang T.C., Bhunia P., Surampalli R.Y. Treatment technologies for emerging contaminants in wastewater treatment plants: A review. *Science of the Total Environment*, 2021, vol. 753. <https://doi:10.1016/j.scitotenv.2020.141990>
45. Rahul G.S., Guleria R., Mathur V. Differences in plant metabolites and microbes associated with *Azadirachta indica* with variation in air pollution. *Environmental Pollution*, 2020, vol. 257. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113595>
46. Sharma G., Guleria R., Mathur V. Differences in plant metabolites and microbes associated with *Azadirachta indica* with variation in air pollution. *Environmental Pollution*, 2020, no. 257, pp. 1-7.
47. Taïbiačd K., Taïbia L., Abderrahima A. Effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidant defence systems in *Phaseolus vulgaris* L. *South African Journal of Botany*, 2016, no. 105, pp. 306-312.
48. Takigahira H., Yamawo A. Competitive responses based on kin-discrimination underlie variations in leaf functional traits in Japanese beech (*Fagus crenata*) seedlings. *Evolutionary Ecology*, 2019, no. 33, pp. 521-531.
49. Tran D., Pham V., Le D., Bui T. A study on influence of environmental working conditions on wear of a ball screw based on TCVN7699-2-30. *Journal of Ap-*

- plied Engineering Science*, 2022, vol. 20(2), pp. 372-376. <https://doi:10.5937/jaes0-32506>
50. Vasilyeva N., Fedorova E., Kolesnikov A. Big data as a tool for building a predictive model of mill roll wear. *Symmetry*, 2021, vol. 13(5). <https://doi:10.3390/sym13050859>
51. Voronkova O.Y., Klochko E.N., Vakhrushev I.B., Sergin A.A., Karpenko E.Z., Tavbulatova Z.K. Land resource management in the agro-industrial sector of russia. *International Journal of Pharmaceutical Research*, 2020, vol. 12, pp. 2087-2093. <https://doi:10.31838/ijpr/2020.SP1.306>
52. Xiaoqian R., Jiuzheng Z., Hongyue L. Response of antioxidative system in rice (*Oryza sativa*) leaves to simulated acid rain stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2018, no. 148, pp. 851–856.
53. Zabihi N.A., Mahmoudabady M., Soukhtanloo M. *Salix alba* attenuated oxidative stress in the heart and kidney of hypercholesterolemic rabbits. *Avicenna Journal Phytomedicine*, 2018, vol. 8, no. 1, pp. 63-72.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Petr A. Kuzmin, PhD in Agricultural Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Bioecology of Woody Plants
Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences
97, Universitetskii Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation
pa1984kuzmin@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1303-765X>

Tatyana V. Skoblikova, D.Sc. in Pedagogic, Professor of the Department of Physical Education
Southwest State University
94, 50 Let Oktyabrya Str., Kursk, 305040, Russian Federation
skoblikova-t@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0845-6179>

Sergey A. Gorovoy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Machine Repair and Materials Science
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin
13, Kalinina Str., Krasnodar, 350044, Russian Federation
s.a.gorovoy@inbox.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3322-5348>

Olga V. Otto, PhD in Geography, Associate Professor of the Department of Nature Management and Geoecology
Altai State University
61, Prospekt Lenina, Barnaul, 656049, Russian Federation
otto.olga@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9313-0693>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Кузьмин Петр Анатольевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории биоэкологии древесных растений
Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской Академии Наук (ФНЦ агроэкологии РАН)
проспект Университетский, 97, г. Волгоград, Российская Федерация
pa1984kuzmin@yandex.ru

Скобликова Татьяна Владимировна, доктор педагогических наук, профессор кафедры физического воспитания
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет»
ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Российская Федерация
skoblikova-t@mail.ru

Горовой Сергей Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры ремонта машин и материаловедения
Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина
ул. Калинина, 82, г. Краснодар, 350044, Российская Федерация
s.a.gorovoy@inbox.ru

Отто Ольга Витальевна, кандидат географических наук, доцент кафедры природопользования и геоэкологии
Алтайский государственный университет
проспект Ленина, 61, г. Барнаул, 656049, Российская Федерация
otto.olga@mail.ru

Поступила 25.09.2022

После рецензирования 10.10.2022

Принята 23.10.2022

Received 25.09.2022

Revised 10.10.2022

Accepted 23.10.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-164-178

УДК 338.43



Научная статья | Продовольственная безопасность

ПОСЕВНЫЕ ПЛОЩАДИ КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ НЕЗАВИСИМОСТИ ЕВРЕЙСКОЙ АВТОНОМНОЙ ОБЛАСТИ

Е.В. Стельмах, Т.М. Комарова, С.А. Соловченков

Цель настоящего исследования – определить влияние соотношения посевных площадей и собственного производства сельскохозяйственной продукции на продовольственную независимость Еврейской автономной области в 2005-2020 годах.

Материал и методы. Авторами, при проведении сравнительного анализа динамических рядов по показателям земельных площадей по видам угодий и показателей сельскохозяйственного производства используются экономико-статистический метод, метод анализа и синтеза, а также методы вертикального и горизонтального анализа.

Результаты. Полученные данные свидетельствуют о снижении показателей производства сельскохозяйственной продукции на территории субъекта. Определяется, что показатели сельскохозяйственных площадей остаются без изменений. При этом, в 2020 году отмечается значительное увеличение посевных площадей с 87,2 тыс. га до 136,1 тыс. га. Однако, при рассмотрении показателей по собственному производству продукции сельского хозяйства, чётко прослеживается устойчивая динамика, с общим падением показателей к 2020 году в сравнении с 2005 годом, что формирует низкий уровень продовольственной независимости

Ключевые слова: категории земель; посевные площади; продукция сельского хозяйства; самообеспечение; продовольственная независимость; сельскохозяйственная специализация

Для цитирования. Стельмах Е.В., Комарова Т.М., Соловченков С.А. Посевные площади как фактор формирования продовольственной независимости Еврейской автономной области // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №1. С. 164-178. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-164-178

Original article | Food Security

SOWN AREAS AS A FACTOR IN THE FORMATION OF FOOD INDEPENDENCE OF THE JEWISH AUTONOMOUS REGION

E.V. Stelmakh, T.M. Komarova, S.A. Solovchenkov

The aim of this study is to determine the impact of the ratio of sown areas and own production of agricultural products on the food independence of the Jewish Autonomous Region in 2005-2020.

***Material and methods.** The authors, in carrying out a comparative analysis of the dynamic series on the indicators of the land area by type of land and indicators of agricultural production, used the economic-statistical method, the method of analysis and synthesis, as well as methods of vertical and horizontal analysis.*

***Results.** The data obtained indicate a decrease in the indicators of agricultural production on the territory of the subject. It is determined that the indicators of agricultural areas remain unchanged. At the same time, in 2020 there is a significant increase in the sown areas from 87.2 thousand hectares to 136.1 thousand hectares. However, when considering the indicators of own production of agricultural products, there is clearly a steady trend, with a general decline in indicators in 2020 compared with 2005, which forms a low level of food independence*

***Keywords:** categories of land; crop area; agricultural production; self-sufficiency; food independence; agricultural specialization*

***For citation.** Stelmakh E.V., Komarova T.M., Solovchenkov S.A. Sown Areas as a Factor in the Formation of Food Independence of the Jewish Autonomous Region. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 164-178. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-164-178*

Введение

Актуальность исследования определяется тем, что на территории субъекта сохраняется устойчивая динамика падения производства сельскохозяйственных продуктов, которые выступают в качестве индикаторов, характеризующих продовольственную независимость, при сохранении общих площадей пахотного фонда.

Современная экономическая ситуация, которая формируется в Российской Федерации на фоне общемировых политических тенденций, требует формирования устойчивого внутригосударственного продовольственного

рынка. Среди многочисленных проблем, которые присутствуют в сельскохозяйственной отрасли и формируют нестойкий процесс собственного производства сельскохозяйственной продукции, отмечаются: недостаточный уровень государственной поддержки; низкий уровень социального развития сельских местностей; недостаточное информационное сопровождение данных о земельном фонде по категориям земель; слабое технологическое сопровождение аграрного сектора; малая доля занятости в АПК, высокий уровень безработицы на селе [5,19,9,20,1]. Как следствие – колебание показателей собственного производства сельскохозяйственной продукции, что в значительной степени снижает уровень продовольственной независимости как отдельных регионов, так и Российской Федерации в целом. Так, с 2014 по 2017 года отмечается рост производства по товарной позиции – мясо и мясопродукты с одновременным падением производства зерна, молока и молочных продуктов, картофеля [6]. В 2017 году Россия выполнила пять из восьми показателей Доктрины продовольственной безопасности, обеспечивая себя зерном, картофелем, сахаром, растительным маслом и мясом

К 2019 году отмечается неравномерная динамика по посевным площадям сельскохозяйственных культур в хозяйствах всех категорий. Посевная площадь составила 79,9 млн. га, что на 0,2 млн. га больше, чем в 2018 г. Такое увеличение произошло за счёт роста площадей под зерновые, зернобобовые и масличные культуры. Однако, если сравнивать посевные площади не как процентный показатель к прошлому году, а как абсолютное значение, то мы видим, что в Российской Федерации с 1990 года по 2019 произошло уменьшение посевных площадей с 117708,0 тыс. га. до 79880,0 тыс.га. [5].

Указанные закономерности отмечаются и в Еврейской автономной области. Учитывая, что субъект представляет собой дотационный регион, все выше перечисленные проблемы имеют здесь более выраженный характер. Как отмечает С.В. Аносова, в области за годы рыночных преобразований, в период до 2005 года, произошло значительное сокращение сельскохозяйственных угодий во всех категориях хозяйств [2]. Если до 1990 года область была житницей Хабаровского края, то за период реформирования произошло чётко выраженное снижение сельскохозяйственного производства. Например, в 1990 году в области было произведено зерна 63,8 тыс.тонн, картофеля 141,0 тыс.тонн, овощей 22,0 тыс.тонн [8].

Начиная с 2005 года, показатель сельскохозяйственных земель остаётся неизменным. Соответственно, отличительная особенность от общероссийских тенденций состоит в том, падение производства сельскохозяйствен-

ной продукции происходит на фоне сохранения сельскохозяйственных площадей. Цель настоящего исследования – определить влияние соотношения посевных площадей и собственного производства сельскохозяйственной продукции на продовольственную независимость Еврейской автономной области в 2005-2020 годах. Исходя из цели исследования, необходимо было решить следующие задачи:

1. Проанализировать современные аспекты сельскохозяйственного землепользования в Российской Федерации и в Еврейской автономной области;
2. Проанализировать показатели, отражающие динамику посевных площадей;
3. Проанализировать показатели по продовольственной независимости для территории субъекта за период с 2005 по 2020 года;
4. Выявить зависимость между показателями посевных площадей и собственным производством сельскохозяйственной продукции.

Материалы и методы исследования

Характеризуя состояние сельскохозяйственной отрасли в Еврейской автономной области, авторы опирались на данные Федеральной службы государственной статистики. Основу статистической выборки по динамике земельных площадей по видам угодий составили статистические данные с 2005 по 2020 года [17,18]. Для рассмотрения данных по производству продукции сельского хозяйства используются показатели для хозяйств, всех категорий, в фактически действовавших ценах, за обозначенный период. При расчёте показателей по фактическому производству сельскохозяйственной продукции и необходимому количеству товаров авторы опирались на показатели-индикаторы, которые определяются Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации [10]. При решении поставленных задач используется экономико-статистический метод, метод анализа и синтеза. Определение зависимости между посевными площадями и производством продуктов опирается на методы вертикального и горизонтального анализа.

Результаты исследований

Еврейская автономная область является самостоятельным субъектом Российской Федерации и входит в состав Дальневосточного федерального округа. Площадь территории Еврейской автономной области составляет 36266 км.кв., из которых примерно 15 % приходится на сельскохозяйствен-

ные земли. Как показывают данные таблицы 1, кардинальных изменений в показателях земель сельскохозяйственного назначения в области не наблюдается. За период с 2005 по 2020 года, мы видим, незначительное увеличение сельскохозяйственных земель на 0,1 тыс.га. (табл. 1) [4]. Показатели по посевным площадям характеризуются неравномерным ходом и показывают, что с 2005 года отмечается увеличение площадей на 9,4 %, соответственно с 87,2 до 95,4 тыс.га к 2020 году. Пиковое значение показателя посевных площадей приходится на 2018 год. При сравнении посевных площадей и общих значений производства в денежном эквиваленте, напрашивается вывод – чем меньше площадь посевных территорий, тем меньше собственное производство продукции. В общей динамике с 2005 по 2020 года отмечается рост, как посевных площадей, так и показателей производства [17,18]. Однако, авторы считают, что оценка только по площадным и денежным показателям не является объективной и не отражает реальной картины состояния сельскохозяйственной отрасли в области.

Таблица 1.

Сельскохозяйственные и посевные площади Еврейской автономной области (тыс. га)

| Вид угодий | Период | | | | | | | |
|--------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 2005 | 2010 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| Сельскохозяйственные земли (тыс. га) | 537,1 | 537,2 | 537,2 | 537,2 | 537,2 | 537,2 | 537,3 | 537,2 |
| Посевные площади (тыс. га) | 87,2 | 108,4 | 125,9 | 107,6 | 148,8 | 163,2 | 143,1 | 95,4 |
| Показатель производства (млн. руб) | 275,8 | 514,2 | 575,1 | 548,6 | 521,6 | 577,2 | 334,4 | 441,8 |

Более объективную картину по производству продукции сельского хозяйства дают данные по товарам, которые являются индикаторам продовольственной безопасности, в перерасчёте на численность населения (табл. 2).

Для оценки собственного производства товаров используются показатели рекомендуемых рациональных норм потребления пищевых продуктов, которые закреплены в приказе Министерства здравоохранения № 614 от 10.10.2016 (в редакции 2020 года) и процентные показатели индикаторов продовольственной независимости [10,12]. Расчёт производится с учётом численности населения на конец указанного периода. Например, скота и птицы на убой в 2016 году для области, с численностью населения 156,5 тыс.человек, было необходимо 11,9 тыс. тонн. Собственное производство составило 1,6 тыс. тонн, что составляет 13 % от необходимого количества. Рассматривая

таблицу 2, мы чётко видим, что из общего перечня сельскохозяйственных товаров только по картофелю отмечается избыточное производство. Однако, в 2020 году, по отношению к 2005, отмечается общее падение производства почти в три раза. По остальным товарным позициям отмечается общая отрицательная динамика производства: скот и птица на убой – снижение с 13,7 % до 11,4 %; молоко – снижение с 39% до 18%; яйцо – снижение с 39% до 31%; плоды и ягоды – снижение с 14,3 5 до полного отсутствия производства; овощи – снижение с показателя избыточного производства в 127 % до 42 %. Показатели по зерну трудно оценить, поскольку в рациональных нормах обозначена позиция – хлебные продукты (хлеб и макаронные изделия в перерасчёте на муку, мука, крупы, бобовые). Однако нетрудно понять, что производство зерна уменьшилось в семь раз. Наиболее плачевным представляется тот факт, что по всем индикаторам область характеризуется как субъект с высокой степенью продовольственной зависимости. И всё это при благоприятном факторе наличия достаточных посевных площадей. Что касается избыточного производства картофеля, то здесь, на наш взгляд, не совсем верно полагаться на хозяйства населения в таком важном стратегическом вопросе, как продовольственная безопасность. По той простой причине, что это производство не является плановым и гарантированным.

Таблица 2.

**Собственное производство сельскохозяйственной продукции
в Еврейской автономной области за 2005 -2020 года**

| Товар (тыс. тонн) | Период | | | | | | |
|---|--------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 1990 | 2005 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| Зерно | 63,8 | 22,4 | 8,9 | 11,1 | 9,6 | 5,4 | 8,8 |
| Скот и птица на убой | 6,6 | 2,5 -18% 13,7 | 1,6 -14% 11,4 | 1,3 -11% 11,8 | 1,4 -12 % 11,7 | 2,1 -18 % 11,5 | 1,2 -10% 11,4 |
| Картофель | 141 | 112,6-662% 17,0 | 35,9 -242% 14,6 | 38,7 -265% 14,6 | 42,1 -292% 14,4 | 17,9 -126% 14,2 | 34,6 -247% 14,0 |
| Молоко | 105,0 | 24,2 -39% 61,3 | 8,9 -16 % 53,4 | 9,4 -18 % 52,6 | 9,1 -17 % 52,0 | 9,3 -18 % 51,4 | 9,4 -18 % 50,8 |
| Яйцо (тыс.шт) | 49,0 | 19,3 -39% 49,0 | 16,5 -38 % 42,7 | 14,2-34 % 42,1 | 13,0 -31 % 41,6 | 9,7 -23 % 41,2 | 12,8 -31 % 40,7 |
| Плоды и ягоды | - | 2,7 -14,3% 18,8 | 1,4 -8,5 % 16,4 | 1,0 -6,2 % 16,2 | 1,4 -8,7 % 16,0 | - | - |
| Овощи | 22,0 | 33,6-127% 26,4 | 17,5 -76 % 23,0 | 15,1 -70 % 21,5 | 14,5 -65 % 22,3 | 7,4 -33 % 22,2 | 9,3 -42 % 21,9 |
| Численность населения (тыс. человек) | 203,4 | 188,7 | 164,2 | 153,6 | 159,9 | 158,3 | 156,5 |

Для сравнения в таблице 2 отражены показатели производства сельскохозяйственной продукции в 1990 году, оценивая которые нетрудно понять, что уровень продовольственной независимости был гораздо выше, что позволяло области в значительной степени покрывать потребности в продовольствии, при тех же показателях посевных площадей для 2017-2019 гг.

Таким образом, при рассмотрении зависимости в динамике с 2005 по 2020 года, можно сделать вывод о том, что при увеличении пахотных площадей, отмечается падение производства сельскохозяйственных товаров, которые являются индикаторам продовольственной независимости. Общая динамика производства сельскохозяйственной продукции демонстрирует высокий уровень продовольственной зависимости Еврейской автономной области.

Обсуждение

Сравнительный анализ земельных площадей на территории области показывает, что для региона характерна общероссийская динамика, направленная на уменьшение посевных площадей [4]. Анализ данных по собственному производству товаров-индикаторов продовольственной независимости чётко демонстрирует значительное снижение показателей. Рассматривая производство в денежном эквиваленте, мы отмечаем увеличение по сравнению с 2005 годом, однако считаем, что сравнение в пользу увеличения не совсем корректно с учётом научно-технических изменений в отрасли [14]. Кроме того, следует отметить, что в области отсутствует производство таких товаров, как сахар, растительное масло, соль и рыбопродукты, которые также выступают индикаторами продовольственной независимости. Сложным представляется процесс оценки производства зерна, поскольку не все его виды идут на производство хлебной продукции. Однако, чётко видно, что и по этой позиции произошло снижение производства более чем на 80 %. При рассмотрении зависимости между пахотными землями и собственным производством сельскохозяйственной продукции, за период с 2005 по 2020 года, мы видим, что при увеличении пахотных площадей отмечается устойчивое падение собственного производства. Как отмечалось ранее, такие показатели самообеспечения области пищевыми продуктами характеризуют её, как субъект с высокой степенью продовольственной зависимости [15]. Полученные выводы демонстрируют низкий уровень эффективности сельскохозяйственной отрасли в области, что подтверждается данными рейтинга, где субъект систематически занимает места в последней десятке [17]. Напомним, что эта динамика отмечается при сохранении показателей сельскохозяйственных земель.

Считаем, что на сегодняшний день чётко ощущается необходимость разработки методики оценки продовольственной зависимости для субъектов, с учётом их региональных агроклиматических и экологических факторов. По сути, Доктрина продовольственной безопасности является документом федерального уровня, соответственно возникает необходимость её адаптации на территории, с учётом местных природных факторов. По мнению Смирнова В.В. необходимо провести системную оценку продовольственной безопасности страны в целом, федеральных округов и отдельных регионов. [13]. Как считает Сухарев О.С., необходимо учитывать специфику каждого региона, оценивать возможности концентрации различных форм ведения сельского хозяйства совместно с возможностями развития предприятий пищевой промышленности [16]. Авторы считают необходимым провести оценку продовольственной независимости для всех субъектов Российской Федерации. А для этого необходима разработка методических подходов, с учётом региональных аспектов, то есть методика не может быть универсальной.

По мнению Ковзуновой Е.С. и Руйга И.Р. текущее федеральное и региональное законодательство представляет набор законов и подзаконных актов, слабо связанных между собой. В связи, с чем закреплённая методика оценки продовольственной безопасности не учитывает территориальные особенности страны, а отсутствие закреплённой системы целевых индикаторов и их пороговых значений не позволяет осуществлять корректную оценку продовольственной безопасности на макрорегиональном уровне [7]. По мнению авторов, закрепление сельскохозяйственной специализации должно отражаться в региональном законодательстве.

Одним из факторов формирования высокой степени продовольственной зависимости области считаем отсутствие чёткой сельскохозяйственной специализации в области. Сельскохозяйственная специализация на основе комплексного мониторинга земельного и пахотного фондов на территории области с учётом территорий, которые постоянно или периодически подвергаются затоплению, позволит определить те отрасли растениеводства и животноводства, которые будут для области рентабельными. Гарантированное производство культур, которые отвечают агроклиматическим условиям и получение продукции животноводства позволит не только обеспечить потребности области, но и даст возможность внутригосударственного обмена на товары, производимые в других регионах. Данный подход исключит производство культур, имеющих односезонный эффект, позволит избежать потерь урожая по причине неблагоприятных

погодных условий, что предусматривает выплаты из государственной казны в качестве компенсации. Также, это позволит исключить выращивание монокультур, производство которых исключает выращивание других товаров-индикаторов, предусмотренных Доктриной. На сегодняшний день большая площадь посевных площадей в области занята соей, однако предприятия по её переработке отсутствуют. Ежегодно отмечается уменьшение поголовья скота, что также снижает уровень продовольственной безопасности. Крайне важно оптимизировать существующую систему управления аграрным сектором. Еще в 2008 году были обозначены проблемы заготовки, хранения и транспортировки сельскохозяйственной продукции [3]. Однако, на сегодняшний день радикальных изменений в данной сфере не наблюдается. В 2020 году была принята Стратегия социально-экономического развития Еврейской автономной области на период до 2030 года [11]. Одним из основных направлений данного документа является увеличение пахотного фонда, которое, как мы выяснили, не гарантирует роста продовольственной независимости. К сожалению, данный документ прописывает, что нужно сделать, но не указывает, как делать. Кроме того, он не содержит направлений, которые предусматривают развитие пищевой промышленности в области. Однако, именно пищевая промышленность производит большую часть пищевых продуктов, а не сельское хозяйство [21].

Заключение

Таким образом, по результатам рассмотрения зависимости между показателями посевных площадей и собственным производством сельскохозяйственной продукции с 2005 по 2020 года, мы пришли к выводу, что при увеличении посевных площадей отмечается падение производства товаров, которые являются индикаторами продовольственной независимости. Выявлено, что область располагает достаточными сельскохозяйственными площадями, для эффективного использования которых необходимо императивное закрепление сельскохозяйственной специализации. Данный подход обеспечит формирование чётких, последовательных шагов в определении ключевых векторов оптимизации сельскохозяйственного землепользования для обеспечения продовольственной независимости ЕАО.

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

Источники финансирования. Авторы заявляют об отсутствии финансирования при проведении исследования

Список литературы

1. Андреева Н.М. Продовольственная безопасность, импортозамещение и состояние агросектора России в новых экономических условиях // Горизонты экономики. 2016. № 4 (30). С. 7-14.
2. Аносова С.В. Сельское хозяйство Еврейской автономной области в конце XX начале XXI века // Региональные проблемы. 2011. Том 14. №1. С.71-76.
3. Аносова С.В., Мишук С.Н. Характеристика сельскохозяйственного производства Еврейской автономной области // Современные наукоемкие технологии. 2008. № 3. С. 61-63. <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=23328> (дата обращения: 03.08.2022).
4. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения в Российской Федерации в 2019 году. 2020. <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/fb1/fb12ab74bc70b5091b0533f44a4d8dba.pdf> (дата обращения: 03.08.2022).
5. Загребальная А.В., Черданцева И.В. Основные экономические проблемы сельскохозяйственного производства в России // Вестник науки Сибири. 2016. № 1 (20). С. 22-29.
6. Казанская А.Ю. Продовольственная независимость РФ в условиях антироссийских санкций: динамика производства сельскохозяйственной продукции // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 10-2 (76). С. 43-49. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.76.10.034>
7. Ковзунова Е.С., Руйга И.Р. Концептуальный подход к оценке продовольственной безопасности макрорегиона на основе использования методов математического моделирования // Продовольственная политика и безопасность. 2022. Т. 9, № 2. С. 177-196. <https://doi.org/10.18334/ppib.9.2.114467>
8. Кодякова Т.П. Проблемы продовольственного обеспечения Еврейской автономной области на современном этапе // Региональные проблемы. 2009. № 12. С. 94-98.
9. Комов Н.В., Чешев А.С. Комплексный подход к планированию и использованию земельных ресурсов // Экономика и экология территориальных образований. 2018. №1 (4). С. 38-40.
10. Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации: указ Президента РФ от 21.01.2020 № 20. <http://ivo.garant.ru/#/document/73438425/paragraph/1:0> (дата обращения: 03.08.2022).
11. Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Еврейской автономной области на период до 2030 года. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации Техэксперт. <http://docs>.

- cntd.ru/document/550248947 (дата обращения: 03.08.2022).
12. Об утверждении Рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающим современным требованиям здорового питания. Приказ Министерства здравоохранения РФ от 19 августа 2016 г. № 614. <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=378735#11> (дата обращения: 03.08.2022).
 13. Смирнов В.В. Продовольственная безопасность регионов Российской Федерации // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. № 3 (288). 2015. С. 29-42.
 14. Стельмах Е.В. Региональные аспекты сельскохозяйственного землепользования в Еврейской автономной области // Финансовый бизнес. №11 (221). 2021. С. 274-276.
 15. Stelmakh E.V. Agricultural specialization of the Jewish Autonomous Region as a factor in ensuring food independence // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. № 723(2). P. 1-5.
 16. Сухарев О.С. Институциональные проблемы обеспечения продовольственной безопасности России // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. № 6 (291). 2015. С. 44-53.
 17. Федеральная служба государственной статистики. Регионы России. Основные социально-экономические показатели. 2020. <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204#> (дата обращения: 03.08.2022).
 18. Федеральная служба государственной статистики. Регионы России. Основные социально-экономические показатели. 2017. <https://org.gnicpm.ru/wp-content/uploads/2019/01/reg-pok17-1.pdf> (дата обращения: 03.08.2022).
 19. Фудина Е.В. Актуальные проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса в России // International agricultural journal. 2020. № 1. С.127-136. <https://doi.org/10.24411/2588-0209-2020-10138>
 20. Широкова О.В., Макеева О.А. Продовольственная безопасность РФ: проблемы и возможные меры улучшения // Продовольственная политика и безопасность. 2020. Том 7. № 2. С. 149-154. <https://doi.org/10.18334/ppib.7.2.110182>
 21. Яковлев С.И. Проблемы формирования продовольственной безопасности России // Наука без границ. № 6 (23). 2018. С. 22-27.

References

1. Andreeva N.M. Prodovol'stvennaja bezopasnost', importozameshhenie i sostojanie agrosektora Rossii v novyh jekonomicheskikh uslovijah [Food security, import substitution and the state of the Russian agricultural sector in the new economic conditions]. *Gorizonty jekonomiki*, 2016, no. 4 (30), pp. 7-14.

2. Anosova S.V. Sel'skoe hozjajstvo Evrejskoj avtonomnoj oblasti v konce XX nachale XXI veka [Agriculture in the Jewish Autonomous Region at the end of the 20th and beginning of the 21st century]. *Regional'nye problemy*, 2011, vol. 14, no. 1, pp. 71-76.
3. Anosova S.V., Mishhuk S.N. Charakteristika sel'skohozjajstvennogo proizvodstva Evrejskoj avtonomnoj oblasti [Characteristics of agricultural production in the Jewish Autonomous Region]. *Sovremennye naukoemkie tehnologii*, 2008, no. 3, pp. 61- 63. <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=23328> (accessed August 03, 2022).
4. Doklad o sostojanii i ispol'zovanii zemel' sel'skohozjajstvennogo naznachenija v Rossijskoj Federacii v 2019 godu (2020). [Report on the state and use of agricultural land in the Russian Federation in 2019 (2020).] <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/fb1/fb12ab74bc70b5091b0533f44a4d8dba.pdf> (accessed August 03, 2022).
5. Zagrebal'naja A.V., Cherdanceva I.V. Osnovnye jekonomicheskie problemy sel'skohozjajstvennogo proizvodstva v Rossii [The main economic problems of agricultural production in Russia]. *Vestnik nauki Sibiri*, 2016, no. 1 (20), pp. 22-29.
6. Kazanskaja A.Ju. Prodovol'stvennaja nezavisimost' RF v uslovijah antirossijskih sankcij: dinamika proizvodstva sel'skohozjajstvennoj produkcii [Food independence of the Russian Federation in the context of anti-Russian sanctions: dynamics of agricultural production]. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*. 2018, no.10-2 (76), pp. 43-49. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.76.10.034>.
7. Kovzunova E.S., Rujga I.R. Konceptual'nyj podhod k ocenke prodovol'stvennoj bezopasnosti makroregiona na osnove ispol'zovanija metodov matematicheskogo modelirovanija [Conceptual approach to assessing food security in the macro-region based on the use of mathematical modeling methods]. *Prodovol'stvennaja politika i bezopasnost'*, 2022, vol. 9, no. 2, pp. 177-196. <https://doi.org/10.18334/ppib.9.2.114467>
8. Kodjakova T.P. Problemy prodovol'stvennogo obespechenija Evrejskoj avtonomnoj oblasti na sovremennom jetape [Problems of food supply in the Jewish Autonomous Region at the present stage]. *Regional'nye problemy*, 2009, no. 12, pp. 94-98.
9. Komov N.V., Cheshev A.S. Kompleksnyj podhod k planirovaniju i ispol'zovaniju zemel'nyh resursov [An integrated approach to planning and using land resources]. *Jekonomika i jekologija territorial'nyh obrazovanij*, 2018, no.1 (4), pp. 38-40.
10. Ob utverzhenii Doktriny prodovol'stvennoj bezopasnosti Rossijskoj Federacii: ukaz Prezidenta RF ot 21.01.2020 № 20 [On approval of the Doctrine of Food Security of the Russian Federation: Presidential Decree of 21.01.2020 № 20]. <http://ivo.garant.ru/#/document/73438425/paragraph/1:0> (accessed August 03, 2022).

11. Ob utverzhdenii Strategii social'no-jekonomicheskogo razvitiya Evrejskoj avtonomnoj oblasti na period do 2030 goda [On approval of the Strategy for socio-economic development of the Jewish Autonomous Region for the period up to 2030]. *Jelektronnyj fond pravovoj i normativno-tehnicheskoy dokumentacii Tehjeksper*. <http://docs.cntd.ru/document/550248947> (accessed August 03, 2022).
12. Ob utverzhdenii Rekomendacij po racional'nym normam potreblenija pishhevyh produktov, otvechajushhim sovremennym trebovanijam zdorovogo pitaniya. Priказ Ministerstva zdravoohraneniya RF ot 19 avgusta 2016 g. № 614 [On approval of Recommendations on rational norms of food consumption that meet modern requirements for a healthy diet. Order of the Ministry of Health of the Russian Federation No. 614 of August 19, 2016]. <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=378735#l1> (accessed August 03, 2022).
13. Smirnov V.V. Prodovol'stvennaja bezopasnost' regionov Rossijskoj Federacii [Food security of the regions of the Russian Federation]. *Nacional'nye interesy: priority i bezopasnost'*, 2015, no. 3 (288), pp. 29-42.
14. Stel'mah E.V. Regional'nye aspekty sel'skohozjajstvennogo zemlepol'zovanija v Evrejskoj avtonomnoj oblasti [Regional aspects of agricultural land use in the Jewish Autonomous Region]. *Finansovyj biznes*, 2021, no.11 (221), pp. 274-276.
15. Stelmakh E.V. Agricultural specialization of the Jewish Autonomous Region as a factor in ensuring food independence. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, no. 723(2), pp. 1-5.
16. Suharev O.S. Institucional'nye problemy obespechenija prodovol'stvennoj bezopasnosti Rossii [Institutional problems of food security in Russia]. *Nacional'nye interesy: priority i bezopasnost'*, 2015, no. 6 (291), pp. 44-53.
17. Federal'naja sluzhba gosudarstvennoj statistiki. Regiony Rossii. Osnovnye social'no-jekonomicheskie pokazateli. 2020 [Federal State Statistics Service. Regions of Russia. Main socio-economic indicators. 2020]. <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204#> (accessed August 03, 2022).
18. Federal'naja sluzhba gosudarstvennoj statistiki. Regiony Rossii. Osnovnye social'no-jekonomicheskie pokazateli. 2017 [Federal State Statistics Service. Regions of Russia. Main socio-economic indicators. 2017]. <https://org.gnicpm.ru/wp-content/uploads/2019/01/reg-pok17-1.pdf> (accessed August 03, 2022).
19. Fudina E.V. Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya agropromyshlennogo kompleksa v Rossii [Current problems and prospects for the development of the agro-industrial complex in Russia]. *International agricultural journal*, 2020, no. 1, pp.127-136. <https://doi.org/10.24411/2588-0209-2020-10138>
20. Shirokova O.V., Makeeva O.A. Prodovol'stvennaja bezopasnost' RF: problemy i vozmozhnye mery uluchsheniya [Food security of the Russian Federation: problems and possible measures for improvement]

- lems and possible measures to improve]. *Prodovol'stvennaja politika i bezopasnost'*, 2020, vol. 7, no.2, pp. 149-154. <https://doi.org/10.18334/ppib.7.2.110182>.
21. Jakovlev S.I. Problemy formirovaniya prodovol'stvennoj bezopasnosti Rossii [Problems of shaping Russia's food security]. *Nauka bez granic*, no.6 (23), 2018, pp. 22-27.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Стельмах Елена Викторовна, кандидат географических наук, доцент, старший научный сотрудник
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН
ул. Шолом-Алейхема, 4, г. Биробиджан, 679016, Российская Федерация
stelmahlena69@mail.ru

Комарова Татьяна Михайловна, кандидат географических наук, доцент, ведущий научный сотрудник
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН
ул. Шолом-Алейхема, 4, г. Биробиджан, 679016, Российская Федерация
carpi-komarova@yandex.ru

Соловченков Сергей Александрович, кандидат социологических наук, учёный секретарь
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН
ул. Шолом-Алейхема, 4, г. Биробиджан, 679016, Российская Федерация
solovchenkov@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTORS

Elena V. Stelmakh, Ph.D. in Geography, Assistant Professor, Senior Scientist
Institute for Complex Analysis of Regional Problems, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences
4, Sholom-Aleikhem Str., Birobidzhan, 679016, Russian Federation
stelmahlena69@mail.ru
SPIN-code: 6092-9158
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2060-81-07>
Scopus Author ID: 56607417200

Tatiana M. Komarova, Ph.D. in Geography, Assistant Professor, Principal Scientist

Institute for Complex Analysis of Regional Problems, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences

4, Sholom-Aleikhem Str., Birobidzhan, 679016, Russian Federation

carpi-komarova@yandex.ru

SPIN-code: 4225-5530

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7876-42-84>

Researcher ID: B-2018-2014

Scopus Author ID: 56501701000

Sergey A. Solovchenkov, Ph.D. in Sociology, Scientific Secretary

Institute for Complex Analysis of Regional Problems, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences

4, Sholom-Aleikhem Str., Birobidzhan, 679016, Russian Federation

solovchenkov@yandex.ru

SPIN-code: 3626-1128

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2687-72-5X>

Scopus Author ID: 56607281500

Поступила 11.08.2022

После рецензирования 29.08.2022

Принята 10.09.2022

Received 11.08.2022

Revised 29.08.2022

Accepted 10.09.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-179-207
УДК 636.3.082.25



Научная статья | Животноводство

ШЕРСТНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО ШЕРСТИ ОВЕЦ ПОРОДЫ РОССИЙСКИЙ МЯСНОЙ МЕРИНОС ОТ ВНУТРИ- И МЕЖЛИНЕЙНОГО ПОДБОРА

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

Линейное разведение часто применяют в чистопородном животноводстве, а сочетание линий между собой не всегда ведет к желательному результату. Поэтому для специалистов-животноводов очень важно знать, при сочетании между собой каких линий животных можно получить высокопродуктивное потомство, обладающее высокими как мясными, так и шерстными качествами. В данной статье изучалось влияние межлинейного подбора овец породы российский мясной меринос на шерстную продуктивность, качество шерсти и гистоструктуру кожи. Было установлено, что самый высокий настриг был у животных III группы, полученных от спаривания баранов-производителей линии ME-50 и маток линии AC-30, которые с достоверной разницей превосходили сверстниц II группы, полученных от внутрилинейного подбора животных линии AC-30 и сверстниц IV группы, полученных от спаривания баранов линии AC-30 и маток линии ME-50, а сверстниц I группы, от внутрилинейного подбора животных линии ME-50 превосходили с недостоверной разницей на 2,0 % ($P>0,05$). Животные III группы имели довольно высокие показатели руна по состоянию шерсти, что связываем с влиянием баранов линии ME-50. Более того, животные имели самый высокий показатель соотношения «жир:пот» (0,84), что подтверждает высокие технологические свойства шерсти животных данного генотипа. По характеру связи коллагеновых волокон в ретикулярном слое зависит качество овчин. По толщине ретикулярного слоя кожи ярки III группы превосходили сверстниц I, II и IV группах соответственно на 5,3 % ($P>0,05$), 21,9 % ($P<0,01$) и 12,0 % ($P<0,05$).

Ключевые слова: *мериносовое овцеводство; внутрилинейное и межлинейное разведение; шерстная продуктивность; качество шерсти; гистоструктура кожи*

Для цитирования. Чернобай Е.Н., Суров А.И., Резун Н.А., Онищенко О.Н., Олейник С.А. Шерстная продуктивность и качество шерсти овец породы российский мясной меринос от внутри- и межлинейного подбора // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №1. С. 179-207. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-179-207

Original article | Animal Husbandry

WOOL PRODUCTIVITY AND QUALITY OF RUSSIAN MEAT MERINO SHEEP FROM INTRA- AND INTERLINE SELECTION

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

Line breeding is often used in purebred animal husbandry, although the combination of lines may affect undesirable result. Therefore, it is very important for animal breeders to know which lines of animals can be combined to produce highly productive offspring with high meat and wool properties. This article studies the influence of interline selection of Russian meat merino breed on wool productivity, quality and skin histostructure. We found that the highest clipping was in the animals of group III obtained from ME-50 line rams and AS-30 line ewes. Ewes exceeded their peers of group II from the intraline AC-30 selection and peers of group IV from AS-30 line rams and ME-50 line queens. At the same time, ewes of group III insignificantly exceeded peers of group I from intraline selection of ME-50 line animals by 2.0% ($P > 0.05$). Animals of group III had rather high fleece indices in terms of the wool condition due to the influence of ME-50 rams. Moreover, they had the highest ratio of "fat:sweat" (0.84), which confirms the high technological wool properties of this genotype. The quality of sheepskins depends on the nature of the connection of collagen fibers in the reticular layer. In terms of the thickness of the skin reticular layer young ewes of the group III exceeded their peers in groups I, II and IV by 5.3% ($P > 0.05$), 21.9% ($P < 0.01$) and 12.0% ($P < 0.05$) respectively.

Keywords: merino sheep breeding; interline and intraline breeding; wool productivity; wool quality; skin histostructure

For citation. Chernobai E.N., Surov A.I., Rezun N.A., Onishchenko O.N., Oleinik S.A. Wool Productivity and Quality of Russian Meat Merino Sheep from Intra- and Interline Selection. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 179-207. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-179-207

Введение

Натуральная овечья шерсть в отличие от синтетических волокон отличается лучшими гигроскопичными, теплозащитными свойствами, способностью поглощения ультрафиолетовых лучей, имеет хорошую прочность, плохо поддается горению, является хорошим изолятором от шума и электричества [10, 26, 33]. Текстильная промышленность выдвигает высокие требования по качеству овечьей шерсти. Чем выше ее качество, тем легче ее переработать. Более качественная шерсть идет на производство дорогих шерстяных изделий. Также от качества зависит цена реализации шерсти. Поэтому ученые непрерывно работают над созданием генотипов овец с высоким качеством шерстного волокна, отвечающей требованиям перерабатывающей промышленности [29, 32].

Уровень шерстной продуктивности тонкорунных мериносовых овец характеризует настриг шерсти в физической массе и мытом волокне, величина которого обусловлена многими, в том числе и генетическими факторами. Одним из таких факторов является скрещивание и различное сочетание между собой линий, обогащающее геном и формирующее новые перспективы продуктивности овец [13, 16, 32].

Целью нашей работы являлось выявление генотипов овец в породе российский мясной меринос, отличающихся лучшими шерстными показателями продуктивности при внутрилинейном и межлинейном подборе с учетом реципрокного спаривания.

Научная новизна исследований

Впервые в условиях Юга России проведена комплексная оценка шерстной продуктивности, качественных показателей шерсти и гистоструктура кожи при внутри- и межлинейном подборе овец породы российский мясной меринос. Обоснованы и выявлены оптимальные варианты подбора при реципрокном спаривании линий между собой. Установлено, что животные, полученные от спаривания баранов-производителей линии МЕ-50 и маток линии АС-30 отличались лучшими показателями шерстной продуктивности, качеством шерсти и прочностью кожи, по сравнению с другими вариантами подбора линий. А реципрокное спаривание линий МЕ-50 и линии АС-30, показало, что потомство IV группы, полученное от спаривания баранов линии АС-30 и маток линии МЕ-50 уступали не только животным III группы, но и животным I группы от внутрилинейного подбора животных линии МЕ-50 по настригам шерсти (немытой и мытой шерсти), выходу мытого волокна, по засоренности шерсти и по общей толщине кожи.

Материалы и методы исследования

Экспериментальные исследования проводились в сельскохозяйственной артели (колхозе) «Родина» Апанасенковского района Ставропольского края Российской Федерации с 2020 по 2022 гг. Порода российский мясной меринос была выведена в 2016 году путем скрещивания тонкорунных маток, разводимых в восточной зоне Ставропольского края с баранами австралийский мясной меринос. При выведении данной породы селекционеры преследовали первостепенную задачу увеличить живую массу по сравнению с исходными породами. В то же время обращали внимание на улучшение качества шерсти. Шерстная продуктивность овец и качество шерсти изучались после стрижки индивидуально по каждому животному.

Для опыта было сформировано 4 группы животных (табл. 1): I группа от спаривания маток и баранов линии ME-50, II группа – линия AC-30, III группа - от спаривания маток линии AC-30 и баранов ME-50 и IV группа - матки линии ME-50 осеменялись баранами линии AC-30. Линия ME-50 - животные с высокой живой массой и средней тониной шерсти. Линия AC-30 - животные средней живой массы, густошерстные, с супертонкой шерстью.

Таблица 1.

Варианты подбора линий животных в опыте

| Группа | Метод подбора | Вариант спаривания | | |
|--------|----------------|----------------------|----------------------|---------------|
| | | бараны-производители | матки | |
| | | | порода, линия | порода, линия |
| I | внутрилинейный | РММ (линия ME-50) | РММ (линия ME-50) | 50 |
| II | внутрилинейный | РММ (линия AC-30) | РММ (линия AC-30) | 50 |
| III | межлинейный | РММ (линия ME-50) | РММ (линия AC-30) | 50 |
| IV | межлинейный | РММ (линия AC-30) | РММ (линия ME-50) | 50 |

Примечание: РММ – порода овец российский мясной меринос

Исследования проводились в лабораториях Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Ставропольского государственного аграрного университета и Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский Федеральный научный аграрный центр».

Для определения настрига шерсти в невытом волокне у ярок различного происхождения нами в период стрижки овец был проведен учет настрига шерсти от каждой головы и рассчитан средний настриг невытой шерсти по каждой группе. По ГОСТ 30190-2000 «Шерсть невытая. Методы определения чистого волокна» определялся выход мытой шерсти [5]. Для этого из каждой ячейки трафарет-сетки, наложенной на слой шерсти, отбирали точечными пробами массой 10-15 г четыре лабораторные пробы по 200 г – основную, параллельную и две контрольные, которые взвешивали на лабораторных весах с точностью до 0,1 г. Замачивали два раза в мыльно-содовом растворе при температуре 38-40 °С. Первый раз при концентрации соды 1 г/дм³, мыла – 3 г/дм³ в течение 40 минут, вторая замочка – при концентрации соды 2 г/дм³, мыла – 3 г/дм³ в течение 6 минут. Затем проводилась мойка в 3-х бочках в каждой по 5 минут в мыльно-содовом растворе при температуре от 40 до 50 °С, а затем полоскали в двух бочках при температуре 38-25 °С в каждом по 5 минут. Шерсть выжимали и сушили в сушильном шкафу при температуре 105 °С до достижения сухой массы. Определив выход мытого волокна, рассчитали количество мытой шерсти по формуле: $x = \frac{A \times B}{100}$, кг

где: А – настриг невытой шерсти, кг;

В – процент выхода мытой шерсти, %

По методическим рекомендациям Завгородней Г. В., Дмитрик И. И., Павловой М. И. «Классировка тонкой шерсти» [12] определяли состояние шерсти – количество шерсти свободной от сора, малозасоренной, сильнозасоренной, дефектной, пожелтевшей, базовой, свалок, обножки, тавро, клонкер. Коэффициент шерстности рассчитывали для того, чтобы определить к какому направлению продуктивности относятся подопытные животные из каждой группы, по формуле $x = \frac{A}{B} \times 1000$;

где: А – настриг мытой шерсти, кг;

Б – живая масса, кг

Тонину шерсти изучали у подопытных животных по 15 голов из каждой группы в лаборатории шерсти отдела овцеводства и козоводства ВНИИОК – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» на боку и ляжке на приборе ланометре по методике ВНИИОК [27].

Естественная длина шерсти определялась сантиметровой линейкой в период бонитировки животных, а истинная длина шерсти – на миллиметровой бумаге путем распрямления волокна по 100 волокон с каждого образца.

Подсчитывали количество извитков, сколько извитков приходится на 1 см длины, а характер выраженности извитков по штапелю определялось в период бонитировки животных.

Прочность шерсти определяли на динамометре ДШ – 3М. Для определения прочности шерсти из бока животного отбирали общую пробу. Каждый штапелек прочесывали несколько раз на металлическом гребне для параллельного *размещения* волокон. Прочесанные штапельки заправляли в шаблон и вырезали пучки длиной 25 мм. Масса каждого пучка составляла 3-4 мг. Для испытаний концы пучков закрепляли в специальных зажимах и включали нагрузку, растягивающую зажимы. Показания прибора фиксировали на шкале.

Загрязнение и вымытость зоны штапеля определяли линейкой и по формуле определяли процент данных зон к общей длине штапеля:

$$x = \frac{A}{B} \times 100, \%$$

где: А – зона загрязнения или вымытости штапеля, см;

В – длина штапеля, см

Количество шерстного жира определялось путем экстрагирования в аппарате Сокслета. Качество жира и пота определялось по методике С.А. Казановского, Л.Н. Чижовой, Л.С. Ермоловой и др. [20].

Гистоструктуру кожи овец, полученных от внутри- и межлинейного подбора изучали методом биопсии. Исследования проводили по методике И.И. Дмитрик, Г.В. Завгородняя, М.И. Павлова [7]. Для этого у подопытных животных с бока брались образцы кожи, этикетировали и фиксировали в 10%-ном растворе формалина. Из взятых образцов кожи готовились блоки, срезы и микропрепараты, на которых микроскопическим путем изучалась общая толщина кожи и ее отдельных слоев: эпидермиса, пилярного и сетчатого (ретиккулярного), количество первичных и вторичных фолликулов на единице площади кожи и их соотношение в морфологических группах.

Анализ данных

Для установления достоверной разницы между показателями подопытных животных разных групп использовали методику Е.К. Меркурьевой «Биометрия в селекции и генетике сельскохозяйственных животных» [19].

Результаты исследования и их обсуждение

В данном разделе представлены результаты исследований по следующим показателям: настриг шерсти невымытого и мытого волокна, выход мытого волокна, естественная и истинная длина шерсти, тонина (диаметр)

шерсти, количество шерстного жира и пота, глубина загрязнения и зона вымытости, гистологическое строение кожи: густота волосяных фолликулов (количество первичных и вторичных фолликулов), толщина кожи (эпидермис, пилярный и ретикулярный слой).

Настриг шерсти и состояние руна

Настриги шерсти и состояние руна изучались после стрижки овец в весенний период. Настриг невытой шерсти определяли на стригальном пункте на электронных весах с точностью до 0,1 кг от каждого животного, а состояние руна изучали в лаборатории шерсти Ставропольского государственного аграрного университета, для этого у 10 животных с каждой опытной группы с бока были взяты образцы шерсти, где определялось количество шерсти свободной от сора, малозасоренной, сильнозасоренной, дефектной, пожелтевшей, базовой свалка, обножки, тавро, клонкера.

В наших исследованиях, мы изучали влияние внутри- и межлинейного подбора на продуктивность и качество шерсти ярок (табл. 2).

Таблица 2.

Настриг шерсти и состояние руна подопытных ярок

| Показатель | Группа | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | I | II | III | IV |
| Острижено, гол. | 27 | 24 | 28 | 23 |
| Настриг шерсти в невытом волокне, кг, $\bar{X} \pm m$ | 4,99±0,08 | 4,63±0,08 | 5,09±0,10 | 4,75±0,14 |
| C_v , % | 8,76 | 8,53 | 10,10 | 13,79 |
| Настриг в мытом волокне, кг, $\bar{X} \pm m$ | 3,04±0,05 | 2,75±0,05 | 3,08±0,06 | 2,84±0,07 |
| C_v , % | 7,86 | 8,79 | 10,23 | 11,91 |
| В том числе, % | | | | |
| Свободная от сора (СВ) | 5,7 | 4,6 | 6,8 | 5,0 |
| Малозасоренная (МЗ) | 74,4 | 70,9 | 73,0 | 71,7 |
| Сильнозасоренная (СЗ) | 13,8 | 16,5 | 14,0 | 15,8 |
| Дефектная (Д) | - | - | - | - |
| Пожелтевшая | 2,4 | 3,2 | 2,5 | 2,8 |
| Базовая | 1,4 | 2,4 | 1,6 | 2,3 |
| Свалок | - | - | - | - |
| Обножка | 2,3 | 2,4 | 2,1 | 2,4 |
| Тавро | - | - | - | - |
| Клонкер | - | - | - | - |
| Выход мытой шерсти, % | 60,9 | 59,4 | 60,5 | 59,8 |

Анализ настригов шерсти показал, что самый высокий настриг был у животных III группы, которые превосходили с достоверной разницей сверстниц II и IV группы соответственно на 9,9 % ($P < 0,001$) и 7,2 % ($P < 0,05$), а сверстниц I группы – с недостоверной разницей на 2,0 % ($P > 0,05$). При внутрилинейном подборе животные I группы по настригу немойтой шерсти достоверно превосходили сверстниц II группы на 7,8 % ($P < 0,01$).

По настригу мытой шерсти животные III группы превосходили с достоверной разницей сверстниц II и IV группы соответственно на 12,0 % ($P < 0,001$) и 8,5 % ($P < 0,05$) и недостоверное превосходство над сверстницами I группы на 1,3 % ($P > 0,05$). При этом, животные I группы имели достоверное превосходство над животными II и IV группами соответственно на 10,5 % ($P < 0,001$) и 7,0 % ($P < 0,05$).

Для определения выхода мытой шерсти из каждой группы нами отбирались по 10 образцов шерсти из разных топографических участков.

В нашем эксперименте выход мытой шерсти у ярок I группы полученных от внутрилинейного подбора линии ME-50 был больше по сравнению со сверстницами II, III и IV группами, соответственно на 1,5 абс. процентов, 0,4 и 1,1 абс. процентов. Среди животных от межлинейного подбора лучшим выходом мытого волокна отличались животные III группы, по сравнению с животными IV группой превосходство составило 0,7 абс. процентов.

Теперь разберем руна опытных групп животных по состоянию. Тонкая шерсть делится на свободную от сора (СВ), малозасоренная (МЗ), сильно засоренная (СЗ), дефектная (Д), сорно-дефектная (СД).

Основная масса рун по состоянию относились к характеристикам малозасоренной шерсти (МЗ), по группам данный показатель находился в пределах от 70,9 до 74,4 % и самый высокий показатель 74,4 % имели животные I группы, которые превосходили сверстниц II, III и IV группами на 3,5; 1,4 и 2,7 абс. процентов. Рун свободных от сора (СВ) в пределах опытных групп колебалось от 4,6 до 6,8 %, в пользу животных III группы, которые превосходили по данному показателю сверстниц I, II и IV группами соответственно на 1,1; 2,2 и 1,8 абс. процентов. В сумме шерсти свободной от сора и малозасоренной по группам колебалось от 75,5% во II группе животных от внутрилинейного подбора линии AC-30 до 80,1% в I группе также от животных внутрилинейного подбора линии ME-50. У животных III и IV группами показатели были промежуточные по сравнению с внутрилинейным подбором и составили соответственно 79,8 и 76,7%. Меньше всего сильнозасоренной шерсти (СЗ) было у животных I группы, которые имели лучший результат по сравнению со сверстницами II, III и IV группами на 2,7; 0,2 и 2,0 абс. про-

центов. У животных I группы меньше всего было пожелтевшей шерсти по сравнению со сверстницами II, III и IV группах соответственно на 0,8; 0,1 и 0,4 абс. процентов и базовой – на 1,0; 0,2 и 0,9 абс. процентов. Обножка составляла в пределах опытных группах от 2,1 до 2,4 %.

Таким образом, шерсть у животных от внутрилинейного подбора линии ME-50 оказалась наиболее чистой, что подтвердилось высоким показателем выходом мытой шерсти, тем не менее, животные III группы, полученные от спаривания баранов-производителей ME-50 и маток линии AC-30 имели довольно высокие показатели руна по состоянию шерсти, что связываем с влиянием баранов линии ME-50.

По коэффициенту шерстности можно определить к какому направлению продуктивности относятся те или иные генотипы овец. Для шерстного направления данный показатель должен быть равен 60 г на 1 кг живой массы и более. Изучив коэффициент шерстности ярок подопытных групп, нами установлена степень соответствия вышеназванным параметрам для овец шерстного направления продуктивности (табл. 3).

Таблица 3.

Коэффициент шерстности ярок, определяющий направление продуктивности овец разных генотипов

| Группа | Показатель | | |
|--------|--|---|---------------------------|
| | Живая масса в 14 мес., кг $\bar{X} \pm m$ | Настриг мытой шерсти, кг $\bar{X} \pm m$ | Коэффициент шерстности, г |
| I | 48,52±0,37 | 3,04±0,05 | 62,7 |
| II | 44,81±0,33 | 2,75±0,05 | 61,4 |
| III | 50,61±0,49 | 3,08±0,06 | 60,9 |
| IV | 47,35±0,42 | 2,84±0,07 | 60,0 |

Анализ таблицы показал, что коэффициент шерстности у ярок, полученных от межлинейного подбора был меньше по сравнению с ярками от внутрилинейного подбора в среднем на 1,6 г на 1 кг живой массы, это еще раз подтверждает, что применение межлинейного подбора, способствует не только к повышению живой массы и настригов шерсти, но и позволяет целенаправленно работать над желательным направлением по продуктивности животных.

Тонина (диаметр) шерсти

В тонкорунном овцеводстве самым важным качественным признаком является тонина шерсти, ее качество играет огромное значение при производстве шерстяных изделий. Влияние генетических и паратипических

факторов, а именно, происхождения, состояния здоровья животного в течение года, содержания и кормления оказывают большое влияние на тонину шерсти и ее качество. Также, в тонкорунном овцеводстве, по работам многих авторов, тонина шерсти высоко коррелирует с мясной продуктивностью животных [11, 21].

L.J. Farrell, P.R. Tozer, P.R. Kenyon, et all [31] в своих исследованиях отмечали, что качество шерсти играет основную роль при ее реализации, чем тоньше шерсть тем она ценится дороже.

Тонину шерсти подопытных животных изучали в лаборатории шерсти отдела овцеводства и козоводства Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства – филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский Федеральный научный аграрный центр». С этой целью отбирались образцы шерсти у животных в 4 месячном возрасте с бока и ляжки и на приборе «Ланометре» определялась тонина (диаметр) шерсти. Для этого шерстинки распределяли на предметном стекле с каплей глицерина, а затем накрывали их покровным стеклом, после чего вели учет. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4.

Тонина шерсти ярков разных генотипов в 4 мес., мкм

| Группа | Тонина волокон, мкм | | | | | |
|--------|---------------------|----------|-----------|-----------------|----------|-----------|
| | Бок | | | Ляжка | | |
| | $\bar{X} \pm m$ | δ | $C_v, \%$ | $\bar{X} \pm m$ | δ | $C_v, \%$ |
| I | 21,94±0,16 | 0,61 | 2,8 | 22,55±0,17 | 0,67 | 3,0 |
| II | 19,91±0,13 | 0,50 | 2,5 | 20,43±0,20 | 0,77 | 3,8 |
| III | 21,24±0,30 | 1,16 | 5,5 | 21,95±0,29 | 1,12 | 5,1 |
| IV | 20,62±0,33 | 1,30 | 6,3 | 21,26±0,35 | 1,37 | 6,5 |

Ярки I группы (линия ME-50) имели самую крупную тонину шерсти на боку, которые превосходили с достоверной разницей сверстниц II, III и IV группах соответственно на 10,2 % ($P < 0,001$), 3,3 % ($P < 0,05$) и 6,4 % ($P < 0,01$). А ярки III группы, полученные от межлинейного подбора маток линии AC-30 и баранов-производителей ME-50, достоверно превосходили сверстниц II группы от внутрилинейного подбора линии AC-30 на 6,7 % ($P < 0,001$) и недостоверно сверстниц IV группы от межлинейного подбора ($\text{♂AC-30} \times \text{♀ME-50}$) на 3,0 % ($P > 0,05$).

Ярки I группы по тонине шерсти на ляжке достоверно превосходили сверстниц II и IV группах соответственно на 10,4 % ($P < 0,001$) и 6,1 %

($P < 0,01$) и недостоверно сверстниц III группы на 2,7 % ($P > 0,05$), в свою очередь, ярки III группы достоверно превосходили сверстниц II группы на 7,4 % ($P < 0,001$) и недостоверно сверстниц IV группы на 3,2 % ($P > 0,05$).

Самая большая разница по тонине шерсти между боком и ляжкой была у ярок от межлинейного подбора в III и IV группах и составила соответственно на 0,71 мкм в III группе и 0,64 мкм в IV группе, у ярок от внутрилинейного подбора данные показатели составили в I группе – 0,61 мкм, во II группе – 0,52 мкм. Высокую уравниность шерсти по тонине на боку и ляжке у животных от внутрилинейного подбора, мы объясняем тем, что животные разводимых линий более однородны по шерстным признакам, поэтому при спаривании животных внутри линии маток и баранов возможно получить более однородную уравненную шерсть по всему руно. Межлинейный подбор характеризовался шерстной разнокачественностью, поэтому такой большой разброс тонины шерсти у этих животных между боком и ляжкой.

Длина шерсти

Длина шерсти является важнейшим селекционным признаком. При равных показателях качества и разной длине шерсти, шерстная продуктивность будет в пользу животных, которые имеют шерсть длиннее [1].

При определении естественной длины штапель измерялся от вершины до основания в не распрямленном от извитости состоянии до 0,5 см. При измерении истинной длины шерсти – проводилось измерение миллиметровой линейкой расправленного волокна [3, 9].

Показатели естественной и истинной длины шерсти подопытных ярок в 14 месячном возрасте представлены в таблице 5.

Таблица 5.

Естественная и истинная длина шерсти ярок в 14 мес. возрасте

| Группа | n | Длина шерсти, см | | | | Истинная к естественной, % |
|--------|----|------------------|-------|-----------------|-------|----------------------------|
| | | естественная | | истинная | | |
| | | $\bar{X} \pm m$ | Cv, % | $\bar{X} \pm m$ | Cv, % | |
| I | 10 | 13,1±0,30 | 7,3 | 16,2±0,28 | 5,5 | 123,7 |
| II | 10 | 10,6±0,36 | 10,6 | 13,7±0,36 | 8,0 | 129,2 |
| III | 10 | 12,8±0,40 | 9,8 | 16,1±0,40 | 7,9 | 125,8 |
| IV | 10 | 11,7±0,56 | 15,3 | 14,8±0,60 | 12,8 | 126,5 |

Изучив естественную длину шерсти подопытных ярок, можно констатировать, что ярки I группы имели самую длинную шерсть и с достоверной разницей превосходили сверстниц II и IV группах соответственно на

23,6 % ($P < 0,001$) и 12,0 % ($P < 0,05$), а превосходство над ярками III группы было при недостоверной разнице на 2,3 % ($P > 0,05$). В свою очередь, ярки III группы достоверно превосходили сверстниц II группы на 20,8 % ($P < 0,001$), а сверстниц IV группы превосходили с недостоверной разницей на 9,4 % ($P > 0,05$).

По истинной длине шерсти по группам подопытных животных наблюдалась такая же тенденция, что и по естественной длине. Ярки I группы достоверно превосходили сверстниц II и IV группах соответственно на 18,2 % ($P < 0,001$) и 9,5 % ($P < 0,05$), а превосходство над ярками III группы было при недостоверной разнице на 0,6 % ($P > 0,05$). В свою очередь, ярки III группы достоверно превосходили сверстниц II группы на 17,5 % ($P < 0,001$), а сверстниц IV группы превосходили с недостоверной разницей на 8,8 % ($P > 0,05$).

Извитость шерсти

Отношение истинной длины к естественной длине шерстного волокна показывает характер ее извитости. По степени расправленности шерстного волокна, можно судить какой формы могут быть извитки - от плоских до петлистых.

В нашем эксперименте извитки были в основном нормальной формы, встречались с плоской и высокой формой.

Извитость шерсти зависит не только от тонины волокон, но и от довольно сложных физических процессов, протекающих при ороговении и затвердении волокон в волосяном влагалище [22].

В нашем случае, самая грубая шерсть была у животных I группы, поэтому, извитки у этих животных приобретали более вытянутую форму. А самая тонкая шерсть была у животных II группы, у которых извитки соответствовали нормальной и высокой форме, поэтому отношение истинной к естественной длине у них была самой высокой и составила 129,2 %, а у животных I группы данный показатель был самым низким и составил 123,7 %. У животных от межлинейного подбора III и IV группах отношение истинной к естественной длине было промежуточным по сравнению с внутрилинейным подбором и составило соответственно 125,8 и 126,5 %.

Извитость шерсти тесно связана с упругостью, эластичностью, длиной, тониной, что в значительной степени предопределяет качественные показатели шерстного сырья в процессе его промышленной переработки.

Извитость шерстяных волокон и характер выраженности извитков по штапелю изучалась у ярок в возрасте 14 месяцев (табл. 6).

Таблица 6.

Характеристика шерсти по извиткам у подопытных ярок

| Группа | n | Количество извитков на 1 см | | | Характер выраженности извитков по штапелю, % | | |
|--------|----|-----------------------------|----------|-------|--|---|--------------------------------------|
| | | $\bar{X} \pm m$ | δ | Cv, % | извитки правильной формы, четко выражены по всей длине штапеля, «5» баллов | извитки правильной формы, но не четко выражены по всей длине штапеля, «4» балла | смытый характер извитости, «3» балла |
| I | 10 | 5,8±0,16 | 0,51 | 8,9 | 60 | 30 | 10 |
| II | 10 | 6,6±0,12 | 0,39 | 6,0 | 80 | 20 | - |
| III | 10 | 6,1±0,21 | 0,66 | 10,9 | 60 | 40 | - |
| IV | 10 | 6,3±0,26 | 0,82 | 13,1 | 50 | 50 | - |

Анализ результатов изучения извитости показал, что большее количество извитков на 1 см длины штапеля был у ярок II группы (линия АС-30) и составило 6,6 шт. Меньше всего оказалось у животных от внутрилинейного подбора линии МЕ-50 и составило 5,8 извитков на 1 см длины штапеля. Это мы объясняем тем, что, чем тоньше шерсть, а у нас это были животные линии АС-30, тем больше у них оказалось извитков на 1 см длины штапеля. У животных от межлинейного подбора количество извитков на 1 см длины штапеля было – 6,1 и 6,3 шт., данные показатели имели промежуточное значение между линиями животных МЕ-50 и АС-30.

По характеру выраженности извитков при бонитировке II группа получила самые высокие баллы, а именно 80 % животных имели извитки правильной формы, четко выражены по всей длине штапеля, за данный показатель дают «5» баллов и всего 20 % животных в этой группе имели извитки правильной формы, но не четко выражены по всей длине штапеля, за что дают «4» балла. Также, «5» и «4» баллами оценивалась шерсть животных от межлинейного подбора III и IV группах, с извитками правильной формы, четко выраженными по всей длине штапеля. У них было соответственно 60 % и 50 % животных. А с извитками правильной формы, но не четко выраженными по всей длине штапеля у них оказалось соответственно 40 % и 50 % животных. Смытый характер извитости отмечался у 10 % животных от внутрилинейного подбора линии МЕ-50, оценку «5» баллов имели 60 %, а «4» балла – 30 % животных данной линии.

В целом, все подопытные ярки характеризовались ярко выраженной извитостью по всей длине штапеля, что весьма характерно для данной породы овец.

Прочность шерсти

От прочности шерсти зависит дальнейшее использование шерстного сырья. Разрывная нагрузка шерсти тонкорунных овец считается нормальной, если она имеет показатель более 6,5 сН/текс. Также утверждается, что овцы имея более толстую шерсть имеют более высокую разрывную нагрузку [2, 22].

Результаты наших лабораторных исследований прочности шерсти подопытных ярок приведены в таблице 7.

Таблица 7.

Прочность шерсти подопытных ярок, сН/текс

| Группа | n | Прочность шерсти, сН/текс | | |
|--------|----|---------------------------|----------|-------|
| | | $\bar{X} \pm m$ | δ | Cv, % |
| I | 10 | 8,8±0,06 | 0,18 | 2,1 |
| II | 10 | 7,9±0,09 | 0,29 | 3,7 |
| III | 10 | 8,6±0,11 | 0,34 | 3,9 |
| IV | 10 | 8,3±0,13 | 0,42 | 5,1 |

Данные таблицы 6 показывают, что животные I группы по прочности шерсти достоверно превосходили сверстниц II и IV группах соответственно на 11,4 % (P<0,001) и 6,0 % (P<0,05), животных III группы превосходили при недостоверной разнице на 2,3 % (P>0,05). Коэффициент вариации прочности на разрыв находился в пределах нормы для шерсти данной породы. В свою очередь, ярки III группы по прочности достоверно превосходили сверстниц II группы на 8,9 % (P<0,001) и недостоверное превосходство над животными IV группы на 3,6 % (P>0,05).

Таким образом, самая крепкая шерсть оказалась у животных I группы полученных от внутрilineйного подбора линии ME-50 у которых было самое грубое волокно, а менее прочная оказалась у животных II группы, имеющих самую тонкую шерсть, что подтверждается данными таблицы.

Наши результаты совпадают с данными С.И. Билтуева, Г.М. Жилияковой и Э.Б. Аюрова [2], что при огрублении волокна повышается прочность шерсти на разрыв. Также, наш опыт доказывает, что межлинейный подбор животных, способствует увеличению прочности шерсти на разрыв.

Зоны загрязнения и вымытости штапеля

Качество шерстного покрова овцы во многом определяется способностью руна противостоять проникновению внутрь него различного рода загрязнений. О способности руна противостоять проникновениям загрязнений, можно

судить по длине зон вымытости и загрязнения штапеля на различных участках руна. Степень вымытости и глубина загрязнения штапеля в большой степени определяется породным фактором и типом шерстного покрова. Величина зон загрязнения и вымытости зависит также от длины и густоты шерстных волокон в руне, а также уровня содержания и качества жиропота [4].

Зоны загрязнения и вымытости штапеля на боку у подопытных ярок представлены в таблице 8.

Таблица 8.

Зоны загрязнения и вымытости штапеля на боку у подопытных ярок

| Группа | n | Длина шерсти, см | Зона загрязнения, см | | Зона вымытости, см | |
|--------|----|------------------------|----------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| | | $\bar{X} \pm m$ | $\bar{X} \pm m$ | % к общей длине | $\bar{X} \pm m$ | % к общей длине |
| I | 10 | 13,1±0,30 | 3,32±0,09 | 25,3 | 1,59±0,15 | 12,1 |
| II | 10 | 10,6±0,36 | 2,44±0,10 | 23,0 | 1,26±0,11 | 11,9 |
| III | 10 | 12,8±0,40 | 3,01±0,11 | 23,5 | 1,53±0,12 | 11,9 |
| IV | 10 | 11,7±0,56 | 2,70±0,13 | 23,1 | 1,40±0,11 | 12,0 |

При оценке зоны загрязнения шерсти на боку у ярок, установлено, что в зависимости от густоты шерсти зона загрязнения штапеля у подопытных животных разных групп колебалась от 2,44 до 3,32 см. Ярки I группы имели большую зону загрязнения (3,32 см) по сравнению со сверстницами II, III и IV группами при достоверной разнице на 36,1 ($P < 0,001$), 10,3 % ($P < 0,05$) и 23,0 ($P < 0,01$). Наименьшую зону загрязнения штапеля имели животные II группы (2,44 см) по сравнению со сверстницами I и III группами при достоверной разнице соответственно на <26,5 % ($P < 0,001$) и <18,9 % ($P < 0,01$). Это мы объясняем, тем, что животные II группы имели самую короткую и густую шерсть. Так, как у подопытных животных была разная длина шерсти, то зона загрязнения в процентном соотношении колебалась от 23,0 до 25,3 %. Если пересчитать процент загрязнения по всему штапелю (к общей длине), то самый низкий процент отмечался у животных II группы и составил 23,0 %, что ниже, данного показателя животных I, III и IV группах соответственно на <2,3; 0,5 и 0,1 абс. процентов. Считаем, более глубокое проникновение сора во внутрь штапеля у животных I группы было в результате меньшей густоты шерсти по сравнению со сверстниками других опытных групп и наоборот, менее засоренной оказалась шерсть у животных II группы с более густой шерстью.

Между опытными группами ярк по зоне вымытости штапеля разница была недостоверной. Но стоит отметить, что у животных I группы зона вымытости в процентах к общей длине штапеля была больше по сравнению со сверстницами II, III и IV группами на 0,2; 0,2 и 0,1 абс. процентов. Самый низкий процент зоны вымытости к общей длине штапеля оказался у животных II и III группах и составил 11,9 %.

Наши результаты исследований по засоренности и вымытости зон штапеля, подтверждаются результатами исследований авторов В.П. Лушникова, А.В. Молчанова, Д.В. Ерофеева [17], которые установили, чем грубее шерсть у овец, тем больше ее засоренность и вымытость.

Жиропот

Жиропот, обладающий хорошей стойкостью к вымыванию, надежно предохраняет волокна шерсти от воздействия неблагоприятных факторов внешней среды, что способствует поддержанию на должном уровне основных ее физико-механических свойств [8, 14, 15].

В результате сертификации шерсти пород овец Ставропольского края выявлено, что в шерсти, произведенной овцами разных тонкорунных пород, количество жира находится на уровне 8,95 % с колебаниями: min – 7,58 %; max – 10,11 %, а количество пота составляет 12,59 % с колебаниями: min – 9,63 %; max – 15,59 % [28].

Содержание жира и пота в невытой шерсти овец от внутри- и межлинейного подбора представлены в таблице 9.

Таблица 9.

Содержание жира и пота в шерсти ярк различного происхождения, %

| Группа | n | Содержание жира в невытой необезжиренной шерсти | | Содержание пота в невытой необезжиренной шерсти | | Отношение Жир : Пот $\bar{X} \pm m$ |
|--------|----|---|-------|---|-------|--|
| | | $\bar{X} \pm m$ | Cv, % | $\bar{X} \pm m$ | Cv, % | |
| I | 10 | 9,12±0,18 | 6,1 | 11,60±0,17 | 4,8 | 0,79 |
| II | 10 | 10,23±0,19 | 5,9 | 12,62±0,20 | 5,0 | 0,81 |
| III | 10 | 9,61±0,23 | 7,5 | 11,47±0,27 | 7,5 | 0,84 |
| IV | 10 | 9,86±0,18 | 5,8 | 12,15±0,25 | 6,5 | 0,81 |

Сравнительный анализ качества невытой шерсти подопытных животных разного происхождения показал, что самое низкое содержание жира в невытой шерсти имели животные I группы от внутрилинейного подбора линии ME-50, которые достоверно уступали сверстницам II и IV группах на 1,11 абс.

процентов ($P < 0,001$) и 0,74 абс. процентов ($P < 0,01$), разница по содержанию жира в немьтой шерсти с животными III группой было недостоверным - 0,49 абс. процентов ($P > 0,05$). Если сравнить содержание жира в немьтой шерсти у животных от внутрилинейного и межлинейного подборов, то больше жира оказалось у животных от межлинейного подбора на 0,06 абс. процентов.

Самое низкое содержание пота в немьтой шерсти было у животных III группы (11,47 %). По содержанию пота в немьтой шерсти животные III группы достоверно уступали сверстницам II группы на 1,15 абс. процентов ($P < 0,01$), с животными I и IV группами разница была недостоверна. В свою очередь, животные I группы по количеству пота в немьтой шерсти уступали с достоверной разницей на 1,02 абс. процентов ($P < 0,01$). Если сравнить содержание пота в немьтой шерсти у животных от внутрилинейного и межлинейного подборов, то у животных от межлинейного подбора пота было меньше на 0,31 абс. процентов, а по жиру, мы писали выше они несколько превосходили, что и отразилось на показателе соотношения «жир : пот». Животные от межлинейного подбора по сравнению с животными от внутрилинейного подбора имели показатель «жир : пот» выше на 0,025, что позволяет сделать вывод о том, что межлинейный подбор положительно влияет на качество и количество жиропота. В свою очередь, следует отметить животных III группы от межлинейного подбора ($\text{♂ME-50} \times \text{♀AC-30}$) которые по соотношению «жир : пот» имели самый высокий показатель 0,84, что подтверждает высокие технологические свойства шерсти животных данного генотипа.

Наши результаты по содержанию жира и пота в немьтой шерсти подтверждаются исследованиями Г.В. Завгородней, И.И. Дмитрик, М.И. Павловой, А.М.М. Айбазовым [23], которые утверждают, что овцы, имеющие более тонкую и густую шерсть, отличаются высоким содержанием жиропота.

Гистоструктура кожи

Каждый слой кожи выполняет определенную важную функцию, от чего зависят качественные и количественные показатели шерстного и овчинного сырья. От эпидермиса зависит качество лицевого слоя кожевенного сырья. В пилярном слое кожи образуются первичные и вторичные фолликулы. От толщины пилярного слоя и глубины залегания в нем фолликулов зависит диаметр шерстного волокна. По ретикулярному слою, характеру связи коллагеновых в нем волокон зависит качество овчин. Коллагеновые пучки располагаются горизонтально, переплетаясь между собой, образуя овальные ячейки, внутри которых располагаются поперечные волокна, что придает кожевенному сырью необходимую прочность [18, 24, 25].

Результаты наших исследований толщины кожи и количества волосяных фолликулов представлены в таблице 10.

Таблица 10.

Показатели гистоструктуры кожи у ярков разных генотипов, n=5

| Группа | Толщина слоев кожи, мкм ($\bar{X} \pm m$) | | | | Густота волосяных фолликулов на 1 мм ² , шт. $\bar{X} \pm m$ | | | |
|--------|---|------------------|-----------------|------------------|---|---------------|------------------|-------|
| | Эпидермис | Пилярный | Ретикулярный | Общая толщина | ПФ | ВФ | Всего фолликулов | ВФ/ПФ |
| I | 17,4 ±0,44 | 1848,2 ±23,29 | 781,7 ±36,79 | 2647,3 ±58,57 | 5,58 ±0,31 | 59,7 ±1,98 | 65,28 ±2,27 | 10,7 |
| II | 16,3 ±0,47 | 1716,6 ±27,77 | 675,3 ±30,75 | 2408,2 ±56,76 | 5,16 ±0,23 | 71,4 ±1,47 | 76,56 ±1,27 | 13,8 |
| III | 17,5 ±0,44 | 1794,1 ±25,57 | 823,5 ±29,48 | 2635,1 ±55,10 | 5,32 ±0,19 | 66,4 ±1,81 | 71,72 ±1,61 | 12,5 |
| IV | 17,1 ±0,35 | 1762,3 ±25,80 | 735,4 ±14,00 | 2514,8 ±69,14 | 5,60 ±0,29 | 62,2 ±2,67 | 67,80 ±2,50 | 11,1 |

Анализ гистоструктуры кожи подопытных животных показал, что по толщине эпидермиса ярки III группы, полученные от межлинейного подбора, имели превосходство (17,5 мкм) над сверстницами I, II и IV групп при недостоверной разнице соответственно на 0,5 % ($P > 0,05$), 7,4 % ($P > 0,05$) и 2,3 % ($P > 0,05$). В среднем по толщине эпидермиса ярки от внутрилинейного подбора уступали животным от межлинейного подбора при недостоверной разнице на 2,7 %. В целом по группам, эпидермис составлял от 0,66 до 0,68 %. По толщине пилярного слоя кожи, превосходство было на стороне животных I группы, которые достоверно превосходили сверстниц II и IV групп на 7,7 % ($P < 0,01$) и 4,9 % ($P < 0,05$), а превосходство над животными III группы было недостоверным и составило 3,0 % ($P > 0,05$). Также отмечаем, что животные от межлинейного подбора III группы по толщине пилярного слоя превосходили животных II и IV групп при недостоверной разнице. По толщине пилярного слоя ярки от межлинейного подбора в среднем по двум группам по сравнению с животными от внутрилинейного подбора имели незначительное превосходство и разница была недостоверной. В целом по группам, пилярный слой от общей толщины кожи варьировал от 68,1 до 71,3 %. По толщине ретикулярного слоя ярки III группы от межлинейного подбора (♂ME-50×♀AC-30) превосходили сверстниц I, II и IV групп соответственно на 5,3 % ($P > 0,05$), 21,9 % ($P < 0,01$) и 12,0 % ($P < 0,05$). Ярки I группы по толщине ретикулярного слоя имели недостоверное превосходство над животными II и IV групп

на 15,8 % и 6,3 % ($P > 0,01$). В целом по группам, ретикулярный слой от общей толщины кожи варьировал от 28,0 до 31,3 %.

Дмитрик И.И., Завгородней Г.В., Суоровым А.И. и др. [25] установлено, что прочность кожевенного сырья зависит от соотношения пилярного и ретикулярного слоев. Чем меньше соотношение, тем считается кожа будет прочнее.

По результатам наших исследований животные от межлинейного кросса III группы, полученных от спаривания баранов линии ME-50 с матками линии AC-30 имеют наименьшее соотношение между пилярным и ретикулярным слоями (2,18), что позволяет констатировать о более прочной коже данных животных по сравнению со сверстниками, тем более ретикулярный слой кожи у животных данной группы был самым толстым.

По общей толщине кожи ярки от межлинейного подбора превосходили сверстниц от внутрилинейного подбора на 1,9 % ($P > 0,05$). Ярки II группы от внутрилинейного подбора линии AC-30 по общей толщине кожи достоверно уступали сверстницам I и III группах соответственно на 9,9 % ($P < 0,02$), 9,4 % ($P < 0,05$), а разница с животными IV группы была недостоверной 4,4 % ($P > 0,05$).

Подсчет количества фолликулов на 1 мм² площади кожи подопытных животных изучаемых генотипов, позволяет сказать, что по количеству первичных фолликулов разница между опытными группами животных была недостоверной, а по количеству вторичных фолликулов животные II группы превосходили сверстниц I, III и IV группах соответственно на 19,6 % ($P < 0,01$), 7,5 % ($P > 0,05$) и 14,8 % ($P < 0,05$). В свою очередь, животные III группы, превосходили сверстниц I группы по количеству вторичных фолликулов достоверно на 11,2 % ($P < 0,05$).

Установлено, что животные II группы по сумме первичных и вторичных фолликулов (76,56 шт.) имели достоверное превосходство над сверстницами I, III и IV группах соответственно на 17,3 % ($P < 0,01$), 6,7 % ($P < 0,05$) и 12,9 % ($P < 0,05$). А животные III группы, полученные от межлинейного подбора (♂ME-50×♀AC-30), по общему количеству фолликулов превосходили сверстниц I группы при достоверной разнице на 9,9 % ($P < 0,05$).

По словам Е. И. Islamov, G. A. Kulmanova, B. T. Kulataev, et al. [30], непосредственное влияние на формирование овечьей шерсти оказывают только плотность волосяных фолликулов, соотношение вторичных и первичных фолликулов.

Наиболее объективный показатель гистоструктуры кожи – соотношение ВФ/ПФ – показал, что молодежь всех групп имели высокий показатель

густошерстности, который варьировал от 10,7 до 13,8 шт., а молодняк II группы имели самый высокий показатель (13,8 шт.), что больше по сравнению со сверстницами I, III и IV группах соответственно на 29,0 %, 10,4 и 24,3 %.

Таким образом, межлинейный подбор способствует получить животных с более прочной кожей и густой шерстью, особенно отмечаются животные, полученные при спаривании баранов линии ME-50 и маток линии AC-30, что оказывает положительное влияние на шерстную продуктивность полученного потомства.

Выводы

При изучении внутри- и межлинейного подбора родительских пар было выявлено, что животных III группы, полученные от спаривания баранов-производителей линии ME-50 и маток линии AC-30 имели самый высокий настриг невытой шерсти, которые с достоверной разницей превосходили сверстниц II группы, полученных от внутрилинейного подбора животных линии AC-30 и сверстниц IV группы, полученных от спаривания баранов линии AC-30 и маток линии ME-50. Животные III группы имели довольно высокие показатели руна по состоянию шерсти, что связываем с влиянием баранов линии ME-50. Животных III группы, полученные от межлинейного подбора (♂ME-50×♀AC-30) имели самый высокий показатель соотношения «жир : пот» (0,84), что подтверждает высокие технологические свойства шерсти животных данного генотипа. По характеру связи коллагеновых волокон в ретикулярном слое, зависит качество овчин. По толщине ретикулярного слоя кожи, ярки III группы от межлинейного подбора (♂ME-50×♀AC-30) превосходили сверстниц I, II и IV группах соответственно на 5,3 % ($P>0,05$), 21,9 % ($P<0,01$) и 12,0 % ($P<0,05$). Это говорит о крепости овчин данного генотипа по сравнению со сверстниками других опытных групп.

Наши рекомендации: Для получения высоких настригов шерсти, а также качественных характеристик шерстного волокна, предлагаем хозяйствам проводить спаривание баранов линии ME-50 и маток линии AC-30.

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

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-26-20112, <https://rscf.ru/project/22-26-20112/>

Список литературы

1. Аюрова Э. Б. Длина и извитость шерстных волокон овец забайкальской тонкорунной породы в условиях разных зон их разведения // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2015. № 1 (38). С. 36-39.
2. Билтуев С. И., Жилиякова Г. М., Аюрова Э. Б. Прочность шерстных волокон овец забайкальской тонкорунной породы в условиях разных зон их разведения // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2014. № 3 (36). С. 125-128.
3. Билтуев С. И., Жилиякова Г. М., Балданова Д. Ч. Краткая методика выполнения лабораторно-практических заданий по шерстоведению // Изд. 3-е, доп. и перераб. Улан-Удэ: Издательство БГСХА, 2007. 290 с.
4. Гистологическое строение кожи и характеристика рун молодняка овец различного происхождения / В. В. Абонеев, Ю. А. Колосов, Н. Г. Чамурлиев, В. В. Марченко, Е. В. Абонеева // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 1 (57). С. 180-191. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2020-01-18>
5. ГОСТ 30190-2000 «Шерсть невытая. Методы определения чистого волокна». Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, Минск, ИПК Издательство стандартов, 2001, 14 с.
6. Григорьев М.Ф., Григорьева А.И., Сидоров А.А., Попова А.В. Использование органоминеральных кормовых добавок при выращивании молодняка крупного рогатого скота в условиях Якутии // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13. № 3. С. 89-102. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-3-89-102>
7. Дмитрик И. И., Завгородняя Г. В., Павлова М. И. Способ гистологической оценки качества кожи овец : учебно-методические указания. Ставрополь: ВНИИОК, 2013. 32 с.
8. Ерохин А. И., Карасев Е. А., Юлдашбаев Ю. А. Тенденции развития овцеводства в Российской Федерации // Зоотехния. 2014. № 12. С. 12-13.
9. Ефимова Н. И. Длина шерстного волокна и шерстная продуктивность овец породы советский меринос в СПК колхозе-племзаводе им. Ленина Арзгирского района Ставропольского края // Сельскохозяйственный журнал. 2019. № 3 (12). С. 54-57. <https://doi.org/10.25930/0372-3054/008.3.12.2019>
10. Животноводство / Е.А. Арзуманян, А.П. Бегучев, В.И. Георгиевский и др. // М.: Агропромиздат, 1985. 345 с.
11. Завгородняя Г. В. Повышение шерстной продуктивности тонкорунных пород овец при использовании эффективных методов содержания // Сборник

- научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии 2021. Т. 10. № 1. С. 214-222. <https://doi.org/10.48612/115z-1ngx-9dme>
12. Завгородняя Г. В., Дмитрик И. И., Павлова М. И. Классировка тонкой шерсти: методические рекомендации. Ставрополь: ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», 2020. 25 с.
 13. Колосов Ю. А., Клименко А. И., Абонеев В. В. Некоторые исторические и современные аспекты мериносового овцеводства России // Овцы, козы, шерстяное дело. 2014. № 2. С. 2-13.
 14. Косилов В. И., Андриенко Д. А., Кубатбеков Т. С. Влияние породы на состав и свойства жиропота шерсти баранов-производителей на Южном Урале // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2016. № 43. С. 135-139.
 15. Косилов В. И., Андриенко Д. А., Лушников В. П. Содержание и характеристика жиропота, жира и пота на различных участках руна баранов-производителей основных пород Южного Урала // Овцы, козы, шерстяное дело. 2017. № 2. С. 29-31.
 16. Лакота Е. А. Шерстная продуктивность овец ставропольской породы поволжской популяции и ее помесей с мериносами других пород // Овцы, козы, шерстяное дело. 2018. № 4. С. 38-39.
 17. Лушников В. П., Молчанов А.В., Ерофеев Д.В. Шерстная продуктивность и качество шерсти молодняка овец нового типа кавказской породы // Аграрный научный журнал. 2019. № 12. С. 61-63. <https://doi.org/10.28983/asj.y2019i12pp61-63>
 18. Максимова О. В. Гистологическое строение кожи кроссбредных овец // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2021. № 1 (62). С. 130-136. <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2021-1-130-136>
 19. Меркурьева Е. К. Биометрия в селекции и генетике сельскохозяйственных животных. М.: Колос, 1970. 424 с.
 20. Методические рекомендации по изучению биохимического состава и физико-химических констант шерстного жира (воска) и пота овец / С.А. Казановский, Л.Н. Чижова, Л.С. Ермолова и др. Ставрополь: ВНИИОК, 1987. 51 с.
 21. Молчанов А. В., Козин А. Н. Тонина шерсти - селекционный признак, прогнозирующий мясность у овец // Овцы, козы, шерстяное дело. 2017. № 4. С. 3-4.
 22. Мороз В. А., Овцеводство и козоводство: учебник. Ставрополь: Изд-во СтГАУ «АГРУС», 2005. 496 с.
 23. Основные свойства шерсти овец зарубежной селекции / Г. В. Завгородняя, И. И. Дмитрик, М. И. Павлова, А.М.М. Айбазов // Сель-

- скохозяйственный журнал. 2021. № 3 (14). С. 70-77. <https://doi.org/10.25930/2687-1254/010.3.14.2021>
24. Селионова М. И., Дмитрик И. И., Завгородняя Г. В. Товарные свойства овчин баранчиков разного направления продуктивности // Вестник АПК Ставрополя. 2015. № 1 (17). С. 172-175.
 25. Товарные свойства овчин баранчиков основных плановых пород Ставропольского края / И. И. Дмитрик, Г. В. Завгородняя, А. И. Суров, А. А. Омаров, В. В. Марченко, М. И. Павлова, Е. Г. Овчинникова // Ветеринария Кубани. 2011. № 3. С. 6-8.
 26. Шерстная продуктивность молодняка овец разного происхождения / В. В. Абонеев, Н. Г. Чамурлиев, Ю. А. Колосов, В. В. Марченко, Д. В. Абонеев, Р. П. Ларионов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 3 (51). С. 230-236.
 27. Шерсть овечья, комплексная оценка рун и товарной массы с измерением основных свойств шерсти в селекционных целях: методическое указание метод испытаний / В. И. Сидорцов, С. Ф. Павлюк, О. Б. Санькова и др. // Ставрополь: Изд-во ВНИИОК, 1991. 29 с.
 28. Шумаенко С. Н., Ефимова Н. И. Сравнительная оценка сертифицированной шерсти овец тонкорунных пород Ставрополя // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 7. С. 135-140.
 29. Genetic Basis for Improving the Reproductive Qualities and Productivity of South-Kazakh Merinoes / E. I. Islamov, G. A. Kulmanova, B. T. Kulataev, A. I. Zhumanova // Archives of Razi Institute, 2021, vol. 76, no. 5, pp. 1371-1380. <https://doi.org/10.22092/ari.2021.356168.1795>.
 30. Enhancement of the Reliability of Animal Genotyping Regarding the Betterment of Wool Productivity in South-Kazakh Merino Sheep in Kazakhstan / E. I. Islamov, G. A. Kulmanova, B. T. Kulataev et al. // Archives of Razi Institute, 2021, vol. 76, no. 6, pp 1703-1714. <https://doi.org/10.22092/ari.2021.356235.1809>
 31. Producing higher value wool through a transition from Romney to Merino crossbred i: Flock dynamics, feed demand, and production of lambs and wool / L. J. Farrell, P. R. Tozer, P. R. Kenyon, T. Ramilan, L. M. Cranston // Small Ruminant Research, 2020, vol. 192, art. 106212. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106212>
 32. Selected methods of formation desirable phenotype of different sheep breeds / V. I. Trukhachev, S. A. Oleinik, E. N. Chernobai, T. I. Antonenko, V. I. Konoplev // Agriculture for the next 100 years. Proceedings of the 26th NJF Congress, 2018, pp. 125-129.

33. Sheep productivity in relation to coarse fiber in new-born lambs of different genotypes / E. N. Chernobai, T. V. Voblikova, N. A. Agarkova, N. I. Efimova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, vol. 613, pp. 22-28. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/613/1/012022>

References

1. Ayurova E. B. Dlina i izvitost' sherstnykh volokon ovets zabaykal'skoy tonkorunnoy porody v usloviyakh raznykh zon ikh razvedeniya [Length and crimp of wool fibers of sheep of the Trans-Baikal fine-wool breed in different zones of their breeding]. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V.R. Filippova*, 2015, no. 1 (38), pp. 36-39.
2. Biltuev S. I., Zhilyakova G. M., Ayurova E. B. Prochnost' sherstnykh volokon ovets zabaykal'skoy tonkorunnoy porody v usloviyakh raznykh zon ikh razvedeniya [Strength of wool fibers of sheep of the Trans-Baikal fine-fleece breed in different zones of their breeding]. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V.R. Filippova*, 2014, no. 3 (36), pp. 125-128.
3. Biltuev S. I., Zhilyakova G. M., Baldanova D. Ch. *Kratkaya metodika vypolneniya laboratorno-prakticheskikh zadaniy po sherstovedeniyu* [Brief methodology for performing laboratory and practical tasks in wool science]. Ulan-Ude: BSHA Publ., 2007, 290 p.
4. Aboneev V. V., Kolosov Yu. A., Chamurliev N. G., Marchenko V. V., Aboneeva E. V. Gistologicheskoe stroenie kozhi i kharakteristika run molodnyaka ovets razlichnogo proiskhozhdeniya [Histological structure of the skin and characteristics of the runes of young sheep of various origins]. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*, 2020, no. 1 (57), pp. 180-191. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2020-01-18>
5. GOST 30190-2000 *Sherst' nemytaya. Metody opredeleniya chistogo volokna* [Unwashed wool. Methods for the determination of pure fiber]. Minsk: IPK Standards Publishing House, 2001, 14 p.
6. Grigorev M. F., Grigoreva A. I., Sidorov A. A., Popova A. V. Ispol'zovanie organomineral'nykh kormovykh dobavok pri vyrashchivanii molodnyaka krupnogo rogatogo skota v usloviyakh Yakutii [Use of the organomineral feed additives for raising young cattle in the conditions of Yakutia]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 89-102. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-3-89-102>
7. Dmitrik I. I., Zavgorodnyaya G. V., Pavlova M. I. *Sposob gistologicheskoy otsenki kachestva kozhi ovets : uchebno-metodicheskie ukazaniya* [A method for histological assessment of the quality of sheep skin: educational guidelines]. Stavropol: VNIIOK, 2013, 32 p.

8. Erokhin A. I., Karasev E. A., Yuldashbaev Yu. A. Tendentsii razvitiya ovtsevodstva v Rossiyskoy Federatsii [Trends in the development of sheep breeding in the Russian Federation]. *Zootechniya*, 2014, no. 12, pp. 12-13.
9. Efimova N. I. Dlina sherstnogo volokna i sherstnaya produktivnost' ovets porody sovetkiy merinos v SPK kolkhoze-plemzavode im. Lenina Arzgirskogo rayona Stavropol'skogo kraya [The length of wool fiber and wool productivity of sheep of the Soviet Merino breed in the SEC collective farm-stud farm named after. Lenin of the Arzgirsky district of the Stavropol Territory]. *Agricultural Journal*, 2019, no. 3 (12), pp. 54-57. <https://doi.org/10.25930/0372-3054/008.3.12.2019>
10. Arzumanyan E. A., Beguchev A. P., Georgievskiy V. I., Aleksandrov V. A., Raetskiy A. V., Fandeev B. V., Yudin Yu. I. *Zhivotnovodstvo* [Livestock]. Moscow: Agropromizdat, 1985. 345 p.
11. Zavgorodnyaya G. V. Povyshenie sherstnoy produktivnosti tonkorunnykh porod ovets pri ispol'zovanii effektivnykh metodov sodержaniya [Increasing the wool productivity of fine-fleeced breeds of sheep using effective management methods]. *Sbornik nauchnykh trudov Krasnodarskogo nauchnogo tsentra po zootekhnii i veterinarii*, 2021, vol. 10, no. 1, pp. 214-222. <https://doi.org/10.48612/115z-1ngx-9dme>
12. Zavgorodnyaya G. V., Dmitriuk I. I., Pavlova M. I. *Klassirovka tonkoy shershti: metodicheskie rekomendatsii* [Classification of fine wool: guidelines]. Stavropol: FGBNU North Caucasian FNAC, 2020, 25 p.
13. Kolosov Yu. A., Klimentov A. I., Aboneev V. V. Nekotorye istoricheskie i sovremennyye aspekty merinosovogo ovtsevodstva Rossii [Some historical and modern aspects of merino sheep breeding in Russia]. *Ovtsy, kozy, sherstnyanoe delo*, 2014, no. 2, pp. 2-13.
14. Kosilov V. I., Andrienko D. A., Kubatbekov T. S. Vliyanie porody na sostav i svoystva zhiropota shersti baranov-proizvoditeley na Yuzhnom Urale [Influence of the breed on the composition and properties of wool grease of rams in the Southern Urals]. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*, 2016, no. 43, pp. 135-139.
15. Kosilov V. I., Andrienko D. A., Lushnikov V. P. Soderzhanie i kharakteristika zhiropota, zhira i pota na razlichnykh uchastkakh runa baranov-proizvoditeley osnovnykh porod Yuzhnogo Urala [Content and characteristics of lard, fat and sweat in different areas of the fleece of rams-producers of the main breeds of the Southern Urals]. *Ovtsy, kozy, sherstnyanoe delo*, 2017, no. 2, pp. 29-31.
16. Lakota E. A. Sherstnaya produktivnost' ovets stavropol'skoy porody povolzhskoy populyatsii i ee pomesey s merinosami drugikh porod [Wool productivity of sheep of the Stavropol breed of the Volga population and its crossbreeds with merinos of other breeds]. *Ovtsy, kozy, sherstnyanoe delo*, 2018, no. 4, pp. 38-39.

17. Lushnikov V.P., Molchanov A.V., Erofeev D.V. Sherstnaya produktivnost' i kachestvo shersti molodnyaka ovets novogo tipa kavkazskoy porody [Wool productivity and wool quality of young sheep of a new type of Caucasian breed]. *The Agrarian scientific journal*, 2019, no. 12, pp. 61-63. <https://doi.org/10.28983/asj.y2019i12pp61-63>
18. Maksimova O. V. Gistologicheskoe stroenie kozhi krossbrednykh ovets [Histological structure of the skin of crossbred sheep]. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*, 2021, vol. 1, no. 62, pp. 130-136. <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2021-1-130-136>
19. Merkur'yeva E. K. *Biometriya v seleksii i genetike sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh* [Biometrics in breeding and genetics of agricultural animals]. Moscow: Kolos, 1970, 424 p.
20. Kazanovskiy S. A., Chizhova L. N., Ermolova L. S., *Metodicheskie rekomendatsii po izucheniyu biokhimicheskogo sostava i fiziko-khimicheskikh konstant sherstnogo zhira (voska) i pota ovets* [Guidelines for the study of the biochemical composition and physico-chemical constants of wool fat (wax) and sheep sweat]. Stavropol: VNIIOK, 1987, 51 p.
21. Molchanov A. V., Kozin A. N. Tonina shersti - selektsionnyy priznak, prognostiruyushchiy myasnost' u ovets [Wool fineness - a breeding trait that predicts meatiness in sheep]. *Ovtsy, kozy, sherstyanoe delo*, 2017, no. 4, pp. 3-4.
22. Moroz V. A. *Ovtsevodstvo i kozovodstvo: uchebnik* [Sheep and goat breeding: textbook]. Stavropol: AGRUS, 2005. 496 p.
23. Zavgorodnyaya G. V., Dmitrik I. I., Pavlova M. I., Aibazov A. M. M. Osnovnye svoystva shersti ovets zarubezhnoy selektsii [The main properties of the wool of sheep of foreign selection]. *Agricultural Journal*, 2021, no. 3 (14), pp. 70-77. <https://doi.org/10.25930/2687-1254/010.3.14.2021>
24. Selionova M. I., Dmitrik I. I., Zavgorodnyaya G. V. Tovarnye svoystva ovchin baranchikov raznogo napravleniya produktivnosti [Commodity properties of sheepskin sheepskins of different directions of productivity]. *Agricultural bulletin of Stavropol region*, 2015, no. 1 (17), pp. 172-175.
25. Dmitrik I. I., Zavgorodnyaya G. V., Surov A. I., Omarov A. A., Marchenko V. V., Pavlova M. I., Ovchinnikova Ye. G. Tovarnye svoystva ovchin baranchikov osnovnykh planovykh porod Stavropol'skogo kraya [Commodity properties of sheepskins of the main planned breeds of the Stavropol Territory]. *Veterinaria Kubani*, 2011, no. 3, pp. 6-8.
26. Aboneev V. V., Chamurliiev N. G., Kolosov Yu. A., Marchenko V. V., Aboneev D. V., Larionov R. P. Sherstnaya produktivnost' molodnyaka ovets raznogo proiskhozhdeniya [Wool productivity of young sheep of different origin]. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*, 2018, no. 3 (51), pp. 230-236.

27. Sidortsov V. I., Pavlyuk S. F., Sankova O. B. *Sherst' ovech'ya, kompleksnaya otsenka run i tovarnoy massy s izmereniem osnovnykh svoystv shersti v selektsionnykh tsel'yakh: metodicheskoe ukazanie metod ispytaniy* [Sheep wool, a comprehensive assessment of fleece and commodity mass with the measurement of the main properties of wool for breeding purposes: a methodological indication of the test method]. Stavropol: VNIIOK, 1991. 29 p.
28. Shumaenko S. N., Efimova N. I. Sravnitel'naya otsenka sertifitsirovannoy shersti ovets tonkorunnykh porod Stavropol'ya [Comparative evaluation of certified wool of sheep of fine-fleeced breeds of Stavropol]. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*, 2019, no. 7, pp. 135-140.
29. Islamov E. I., Kulmanova G. A., Kulataev B. T., Zhumanova A. I. Genetic Basis for Improving the Reproductive Qualities and Productivity of South-Kazakh Merinoes. *Archives of Razi Institute*, 2021, vol. 76, no 5, pp. 1371-1380. <https://doi.org/10.22092/ari.2021.356168.1795>
30. Islamov E. I., Kulmanova G. A., Kulataev B. T., Bekbaeva D. N., Zhumanova A. S. Enhancement of the Reliability of Animal Genotyping Regarding the Betterment of Wool Productivity in South-Kazakh Merino Sheep in Kazakhstan. *Archives of Razi Institute*, 2021, vol. 76, no 6, pp 1703-1714. <https://doi.org/10.22092/ari.2021.356235.1809>
31. Farrell L. J., Tozer P. R., Kenyon P. R., Ramilan T., Cranston L. M. Producing higher value wool through a transition from Romney to Merino crossbred i: Flock dynamics, feed demand, and production of lambs and wool. *Small Ruminant Research*, 2020, vol. 192, art. 106212. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106212>
32. Trukhachev V. I., Oleinik S. A., Chernobai E. N., Antonenko T. I., Konoplev V. I. Selected methods of formation desirable phenotype of different sheep breeds. *Agriculture for the next 100 years. Proceedings of the 26th NJF Congress*, 2018, pp. 125-129.
33. Chernobai E. N., Voblikova T. V., Agarkova N. A., Efimova N. I. Sheep productivity in relation to coarse fiber in new-born lambs of different genotypes. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 613, pp. 22-28. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/613/1/012022>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Чернобай Евгений Николаевич, доктор биологических наук, профессор
*ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет
пер. Зоотехнический, 12, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация*
bay973@mail.ru

Суров Александр Иванович, доктор сельскохозяйственных наук
*Всероссийский научно-исследовательский институт овцеводства
и козоводства - филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный
научный аграрный центр»
пер. Зоотехнический, 15, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
surov.stv@yandex.ru*

Резун Наталья Александровна, аспирант
*ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет
пер. Зоотехнический, 12, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
natarezun14@yandex.ru*

Онищенко Ольга Николаевна, аспирант
*ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет
пер. Зоотехнический, 12, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
74helga74@mail.ru*

Олейник Сергей Александрович, доктор сельскохозяйственных наук,
профессор
*ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет
пер. Зоотехнический, 12, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
soliyNIK60@gmail.com*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Evgeny N. Chernobai, Doctor of Biological Sciences, Professor
*Stavropol State Agrarian University
12, per. Zootechnichesky, Stavropol, 355017, Russian Federation
bay973@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1187-1499>*

Alexander I. Surov, Doctor of Agricultural Sciences
*All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding - branch
of the Federal State Budgetary Scientific Institution "North Caucasian
Federal Scientific Agrarian Center"
15, per. Zootechnichesky, Stavropol, 355017, Russian Federation
surov.stv@yandex.ru*

Natalya A. Rezun, postgraduate student
Stavropol State Agrarian University

*12, per. Zootechnicheskyy, Stavropol, 355017, Russian Federation
natarezun14@yandex.ru*

Olga N. Onishchenko, postgraduate student

Stavropol State Agrarian University

12, per. Zootechnicheskyy, Stavropol, 355017, Russian Federation

74helga74@mail.ru

Sergey A. Oleinik, Doctor of Agricultural Sciences

Stavropol State Agrarian University

12, per. Zootechnicheskyy, Stavropol, 355017, Russian Federation

solinyuk60@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6003-4777>

Поступила 25.09.2022

После рецензирования 11.10.2022

Принята 20.10.2022

Received 25.09.2022

Revised 11.10.2022

Accepted 20.10.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-208-228

УДК 633.85:633.83:58.085



Научная статья | Агрономия

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РИТМА СЕЗОННОГО РАЗВИТИЯ SCUTELLARIA BAICALENSIS GEORGI В НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЕ И НА ЮЖНОМ БЕРЕГУ КРЫМА

*Е.Ю. Бабаева, Ю.М. Минязева,
Л.А. Логвиненко, А.В. Молчанова*

Актуальность. Шлемник байкальский – ценное лекарственное растение и охраняемый вид восточно-азиатской флоры, поэтому работы по его интродукции ведутся во многих регионах РФ. В связи с изменением климата, актуально изучение влияния метеорологических факторов на фенологию шлемника байкальского в контрастных по климатическим условиям районах России.

Материалы и методы. Объект исследования – популяции шлемника байкальского биокolleкций ФГБНУ ВИЛАР (Центральный район Нечерноземной зоны) и ФГБУН «НБС – ННЦ» (Никитский ботанический сад, Южный берег Крыма). Метеопказатели: сумма активных температур, сумма осадков. Статистический анализ: коэффициент корреляции Таи-в -Кендалла.

Результаты. Длительность вегетационного периода в каждом регионе имеет небольшую вариабельность, независимо от погодных условий года. Интервал между наступлением фенофаз в Крыму характеризовался более слабой изменчивостью, чем в Нечерноземной зоне. В Нечерноземье требовалась существенно меньшая сумма активных температур для наступления фенофаз по сравнению с Южным берегом Крыма. К концу вегетации разница в средней сумме активных температур по регионам достигла 1694,6°C. По обоим регионам и по всем годам исследований сумма осадков имела резкие колебания.

Заключение. Вторичное цветение, широкие амплитуды длительности фенофаз и вегетационного периода в целом, суммы активных температур и осадков, отмечаемые при наступлении фенофаз по обоим регионам, свидетельствуют об экологической пластичности шлемника байкальского и наличии условий для его выращивания в обоих регионах.

Ключевые слова: шлемник байкальский; фенологические фазы; длительность; сумма активных температур; сумма осадков

Для цитирования. Бабаева Е.Ю., Минязева Ю.М., Логвиненко Л.А., Молчанова А.В. Сравнительная характеристика ритма сезонного развития *Scutellaria Baicalensis Georgi* в нечерноземной зоне и на южном берегу Крыма // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №1. С. 208-228. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-208-228

Original article | Agronomy

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF THE RHYTHM OF THE SEASONAL DEVELOPMENT OF SCUTELLARIA BAICALENSIS GEORGI IN THE NON-CHERNOZEM ZONE AND ON THE SOUTH COAST OF THE CRIMEA

*E. Yu. Babaeva, Yu. M. Minyazeva,
L. A. Logvinenko, A. V. Molchanova*

Scutellaria baicalensis is a valuable medicinal plant and a protected species of the East Asian flora. Therefore, work on its introduction is underway in many regions of Russian Federation. Studying of the influence of meteorological factors on the phenology of the *S. baicalensis* in regions of Russian Federation with contrasting climatic conditions is important in grounds of climate change.

Materials and methods. The object of the study is the population of the *S. baicalensis* biocollections of All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants and Nikitsky Botanical Garden. Meteorological indicators: sum of active temperatures, sum of precipitation. Statistical analysis: Tau-b-Kendall correlation coefficient.

Results. The duration of the growing season in each region has little variability, independently of the weather conditions of the year. The interval between the onset of phenological phases in the Crimea was characterized by weaker variability than in the Non-Chernozem zone. A significantly smaller amount of active temperatures was required for the onset of phenological phases in the Non-Chernozem zone compared to the southern coast of Crimea. The difference in the average sum of active temperatures across the regions reached 1694.6°C by the end of the growing season. The amount of precipitation had sharp fluctuations in both regions and in all years of research.

Conclusion. Secondary flowering, wide amplitudes of the duration of phenological phases and the growing season as a whole, the sum of active temperatures and precipitation indicate the ecological plasticity of the *S. baicalensis* and the availability of conditions for its cultivation in both regions.

Keywords: *Scutellaria baicalensis*; phenological phases; duration; sum of active temperatures; sum of precipitation

For citation. Babaeva E.Yu., Minyazeva Yu.M., Logvinenko L.A., Molchanova A.V. Comparative Characteristics of the Rhythm of the Seasonal Development of *Scutellaria Baicalensis* Georgi in the Non-Chernozem Zone and on the South Coast of the Crimea. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 208-228. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-208-228

Введение

На российском фармацевтическом рынке наблюдается динамичный рост употребления лекарственных трав и препаратов. Спрос на лекарственное растительное сырье в последние годы достаточно высок. Несмотря на небольшие объемы производства, рынок лекарственного сырья является очень перспективным сегментом российского фармацевтического рынка. Текущая сложная экономическая ситуация, а также высокая стоимость импортных лекарств определяют развитие фармацевтического производства лекарственных средств из отечественного лекарственного растительного сырья. Данное направление является перспективным и приоритетным в сфере сельскохозяйственного производства [15]. Шлемник байкальский (*Scutellaria baicalensis* Georgi) – ценное лекарственное растение семейства Lamiaceae Martinov (Labiatae Juss.). Относится к подсемейству Scutellarioideae Briq., роду *Scutellaria* L., подроду *Scutellaria*, секции *Stachymacris* A.Hamilt., подсекции *Angustifoliae* Benth. [8]. Растение имеет монголо-даурско-маньчжурский тип ареала. Материковый ареал шлемника сплошной, но имеет весьма сложную конфигурацию; на территорию РФ проникает 3 его выступа: северо-западный (восточно-забайкальский), северный (приамурский) и восточный (приморский). Протяженность его ареала с запада на восток превышает 1500 км, а с севера на юг – 1000 км [16]. Основная часть ареала вида в РФ сосредоточена в Восточном Забайкалье. Центральная часть ареала сосредоточена в Восточном Китае, растение встречается также в Восточном аймаке Монголии. Северная граница ареала ограничена изотермой -4°C , западная – изогией в 200 мм [14; 18]. Растительные сообщества с *S. baicalensis* относятся к

стенотопным. Вид приспособлен к условиям неустойчивого, даже засушливого водного режима. *S. baicalensis* занимает открытые лесостепные и степные участки и тесно связан с нителлистниковыми степями, по экологии принадлежит к группе криомезоксерофитов. В Восточном Забайкалье отмечается ярко выраженная континентальность климата, который характеризуется отрицательной среднегодовой температурой (-3,9°C). Наблюдается большая амплитуда суточных температур, наличие резко контрастных по величине увлажнения периодов в течение сезона; количество выпадающих осадков также резко колеблется по годам. Положительные температуры наступают только в конце апреля. Характерно недружное весеннее развитие и позднее начало вегетации растений, позднее окончание весенних заморозков и ранее появление осенних; укороченный вегетационный период [23]. Размножается вид только эремами [18]. При уничтожении большого числа плодоносящих особей численность вида резко снижается, а восстановление крайне замедляется, что может привести к исчезновению популяции.

Это лекарственное и декоративное растение включено в 6 региональных Красных книг РФ. Все они отмечают его ценность как источника лекарственного растительного сырья (ЛРС) [6]. Извлечения из корней *S. baicalensis* издавна входили в каноны медицины Китая и Тибета [21; 28]. Ареал *S. baicalensis*, который в силу своих эколого-биологических и ценотических особенностей сильно реагирует на антропогенное воздействие, сокращается. Поскольку растение относится к редким и исчезающим, заготовка корней в ареале запрещена. Введение этого вида в культуру – актуальная проблема [23]. Установлена возможность создания плантаций в Приморском крае [11]. Изучаются подходы к интродукции в различных регионах РФ [7; 12; 13; 14]. В Нечерноземье начальные этапы интродукции *S. baicalensis* проведены в ВИЛАР (в 90-е гг. XX в. и продолжают в настоящее время) [1]. Выделенные из корней *S. baicalensis* фарм. субстанции используют для получения препаратов гипотензивного, антирадикального, антиканцерогенного и антикоагулянтного действия [24; 27]. Показано, что не только подземная, но и надземная часть может служить для получения ЛРС [22]. Растение входит в коллекции многих ботанических садов, в том числе в Нечерноземье и в Республике Крым. Для расширения площадей и полноценного интродукционного исследования необходимо проводить изучение ритма сезонного развития шлемника в связи с погодными условиями. При оценке степени адаптации интродуцентов применяются различные методы, одними из которых

являются фенологические наблюдения. В последнее время им уделяется все больше внимания в связи с глобальными изменениями климата. Точные прогнозы биологической реакции видов на изменение климата требуют глубокого понимания метеорологических факторов, воздействующих на фенологию растений [9; 10]. Фенологические метрики, которые характеризуются значительными различиями, могут быть определены только для растительности с сезонным поведением [25]. Малоизученным на сегодняшний день остается вопрос о том, какие именно климатические факторы влияют на фенологические фазы растений и каким образом [26].

Цель работы – изучение ритма сезонного развития *S. baicalensis* и сопоставление его с метеоданными при выращивании растений в разных эколого-географических условиях на примере Нечерноземья и Южного берега Крыма. Известно, что для распространения вида более важен широтный градиент [18].

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести фенологические наблюдения за растениями *S. baicalensis*;
2. Проанализировать сроки прохождения растениями фенологических фаз в связи с погодными данными;
3. Сравнить данные по двум регионам и определить благоприятные условия для выращивания *S. baicalensis*.

Материалы и методы

В течение ряда лет (2017-2020 гг.) изучали *S. baicalensis* биокolleкции Ботанического сада ФГБНУ ВИЛАР (БСВ), г. Москва (55,57° с.ш. и 37,55° в.д.) и Ботанического сада ФГБУН «НБС – ННЦ» РАН (НБС), Республика Крым, пгт. Никита (44,52° с.ш. и 34,25° в.д.). БСВ - посадочный материал привлечен из Читинской обл., НБС - посевной материал получен из Германии. Основными отличительными особенностями агроклиматических ресурсов Нечерноземья является достаточная или избыточная обеспеченность влагой сельскохозяйственных культур и умеренная или недостаточная обеспеченность их теплом [2]. Пгт Никита – это зона сухого субтропического средиземноморского климата. Фенологические наблюдения проводили согласно общепринятой методике с современными уточнениями [17]. Сведения о метеоданных взяты: для БСВ на интернет – ресурсе [19], для НБС – на агрометеостанции «Никитский сад». Исходя из биологических особенностей растения *S. baicalensis*, рассчитывали сумму активных температур (САТ) выше +5°C.

Для проверки нормальности распределения использовали критерий Shapiro-Wilk. Сделан вывод, что распределение параметров отличается от нормального. Расчет коэффициента корреляции Tau-b Кендалла для непараметрических данных выполнен по парам независимых переменных «длительность фенофаз: САТ» и «длительность фенофаз: сумма осадков». Расчеты проводили в программе IBM SPSS Statistics 26, принимая критический уровень значимости равным 0,05.

Результаты исследований. Обсуждение

В обоих регионах *S. baicalensis* проходит все фенофазы, проявляя низкую изменчивость даты начала вегетации, кроме БСВ в 2020 г. (табл. 1).

Таблица 1.

Ритм сезонного развития *Scutellaria baicalensis* в 2017-2020 гг.

| Фенологические фазы | Годы наблюдений | | | | | | | |
|------------------------------|-----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
| | 2017 | | 2018 | | 2019 | | 2020 | |
| | НБС | БСВ | НБС | БСВ | НБС | БСВ | НБС | БСВ |
| весеннее отрастание | 24.03 | 30.05 | 06.04 | 23.05 | 09.04 | 24.05 | 01.04 | 06.05 |
| бутонизация | 16.06 05.10 | 10.07 | 18.06 12.10 | 04.07 | 20.06 14.10 | 05.07 | 12.06 03.10 | 23.06 |
| Начало цветения | 26.06 20.10 | 20.07 | 30.06 22.10 | 12.07 | 03.07 24.10 | 16.07 | 30.06 12.10 | 29.06 |
| Массовое цветение | 10.07 | 08.08 | 19.07 | 30.07 | 15.07 | 05.08 | 06.07 | 06.07 |
| массовое плодообразование | 21.07 | 30.08 | 23.07 | 17.08 | 30.07 | 21.08 | 20.07 | 07.09 |
| созревание плодов | 02.08 | 15.09 | 11.08 | 04.09 | 23.08 | 13.09 | 02.08 | 12.09 |
| окончание вегетации | 15.11 | 20.10 | 28.11 | 18.10 | 25.11 | 24.10 | 26.11 | 15.10 |

Парные коэффициенты характеризуют степень корреляции между параметрами (табл. 2).

От начала отрастания до бутонизации в условиях БСВ различия в периодах между фенофазами в 2020 г. существенно больше (49 суток), чем в другие годы проведения исследований (табл. 3). В НБС период между этими фенофазами достоверно более длительный, чем в БСВ – в среднем на 36 суток.

Определенная САТ ежегодно набирается до начала вегетации растений. В НБС она составила в среднем по годам 166,1°C, а по БСВ 185,1°C. В 2020 г. отмечена максимальная САТ до наступления весеннего отрастания в НБС и минимальная в БСВ.

Таблица 2.

Парные коэффициенты Тау-в-Кендалла по регионам

| Периоды между фенофазами | БСВ | | НСБ | |
|---------------------------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|
| | длит. фенофаз: САТ | длит. фенофаз: осадки | длит. фенофаз: САТ | длит. фенофаз: осадки |
| весеннее отрастание-бутонизация | -0,913 | 0,183 | 0,183 | 0,548 |
| бутонизация – начало цветения | 0,667 | 0,667 | 0,183 | 0,548 |
| начало цветения–массовое цветение | 0,667 | 0,333 | 0,667 | 1,0 |
| массовое цветение плодoобразованиe | 1,0 | 0,333 | 0,183 | 0,548 |
| плодoобразованиe–созревание плодов | 0,667 | 0 | 1,0 | 0,667 |
| созревание плодов–окончаниe вегетации | -0,333 | 0,667 | - | - |
| созревание плодов–повт. бутонизация | - | - | -0,548 | 0,548 |
| повт. бутонизация – повт. цветение | - | - | -0,548 | 0,548 |
| повт. цветение–окончаниe вегетации | - | - | 0,667 | 0 |

Таблица 3.

Длительность фенофаз *Scutellaria baicalensis*, сутки и САТ, °С

| Фенологические фазы | НСБ | | | | | БСВ | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| | Минимум | Среднее | Максимум | Медиана | Станд. ошибка среднего | Минимум | Среднее | Максимум | Медиана | Станд. ошибка среднего |
| отрастание-бутонизация | 73 617,4 | 76 802,8 | 85 973,4 | 74 810,1 | 3,0 80,2 | 42 425,0 | 44 502,3 | 49 617,9 | 43 483,2 | 2,0 45,9 |
| бутонизация - начало цветения | 11 884,2 | 14 1041,9 | 19 1194,8 | 13 1044,4 | 2,0 76,3 | 7 510,7 | 10 612,8 | 12 750,8 | 10 594,9 | 1,0 52,6 |
| начало цветения - масс. цветение | 7 1089,2 | 14 1283,1 | 20 1548,0 | 14 1247,7 | 3,0 105,2 | 8 513,7 | 16 838,7 | 21 1041,8 | 19 849,7 | 4,0 87,7 |
| масс. цветение - плодoобразованиe | 4 1344,8 | 12 1493,1 | 15 1637,3 | 14 1495,1 | 3,0 78,3 | 17 1026,2 | 31 1195,9 | 64 1379,6 | 21 1188,9 | 11,0 84,9 |
| плодoобразованиe - созревание плодов | 13 1583,4 | 18 1843,8 | 25 2094,9 | 17 1848,4 | 3,0 132,0 | 6 1279,9 | 18 1363,1 | 24 1453,3 | 20 1359,7 | 4,0 43,7 |
| созревание плодов - окончаниe вегетации | | | | | | 34 1439,1 | 41 1550,7 | 45 1634,1 | 43 1564,8 | 2 41,7 |
| созревание плодов – повт. бутонизация | 53 2730,8 | 61 2871,0 | 65 3093,4 | 63 2829,8 | 3,0 79,8 | | | | | - |
| повт. бутонизация – повт. цветение | 10 2879,6 | 12 3007,8 | 15 3223,8 | 11 2963,9 | 3,0 75,6 | | | | | |
| повт. цветение – окончаниe вегетации | 17 3036,9 | 34 3245,3 | 46 3418,6 | 36 3262,9 | 6,0 80,3 | | | | | - |

Примечание: в числителе длительность фенофазы, в знаменателе САТ.

В БСВ вегетационный сезон 2020 г. характеризовался экстремальным явлением: с середины до конца февраля среднесуточная температура воздуха была положительной. Вместе с тем, по всем декадам марта и апреля встречались отрицательные температуры. Возможно, такие перепады температуры привели к началу вегетации в первой декаде мая при САТ 89,4°C.

САТ от весеннего отрастания до бутонизации отличалась по регионам в среднем на 300,5°C. Коэффициент Тау-б-Кендалла для пары «длительность фенофазы: САТ» в БСВ указывает на сильную отрицательную зависимость между показателями, т.е. чем выше САТ, тем меньше продолжительность фенофазы. Для НБС эта зависимость незначительна. В этот период в НБС ГТК по годам составил 0,5-1,5, а в БСВ 0,9-1,9. В БСВ в этот период достоверно высокий объем осадков был отмечен в 2020 г. Он в 1,9 раза превышал среднее значение, что привело к величине ГТК 5,1. Средняя, и особенно максимальная сумма осадков в этот период в БСВ существенно выше, чем в НБС (рис. 1,2).

Коэффициент Тау-б-Кендалла для пары «длительность фенофазы: осадки» указывает на наличие для НБС корреляции среднего уровня. Если САТ за этот период на территории ЮБК достоверно превосходила таковую в БСВ в среднем в 1,6 раза, то осадков в НБС выпало в 1,6 раз меньше, чем в БСВ. Считается, что для шлемника байкальского недостаток влаги не является лимитирующим фактором (засушливый водный режим – не помеха росту и развитию этого растения в границах его ареала). Но мы можем констатировать, что за 4 года наблюдений низкое количество осадков при высокой САТ удлиняет период между весенним отрастанием и бутонизацией *S. baicalensis* в НБС в 1,5-2,0 раза по сравнению с БСВ.

Среднее количество осадков и разница между минимальным и максимальным значениями по регионам были равными. В БСВ отмечена высокая корреляция между парами «длительность фенофазы: САТ» и «длительность фенофазы: осадки». В НБС только осадки имеют высокую степень корреляции с продолжительностью фенофазы.

Интересно отметить, что в 2020 г. период между бутонизацией и началом цветения в регионе ЮБК был существенно наибольшим, а в БСВ существенно наименьшим. Отличие в САТ по регионам в среднем составило 429,1°C.

Между началом цветения и массовым цветением в 2020 г. как в НБС, так и в БСВ, период между фенофазами был достоверно меньшим, чем в 2017-2019 гг. Медиана для БСВ указывает на смещение половины данных в сторону увеличения по сравнению со средней величиной. САТ между началом цветения и массовым цветением отличалась по регионам в среднем на 444,4°C, с большей величиной в НБС.



Рис. 1. Сумма осадков по фенологическим фазам в БСВ

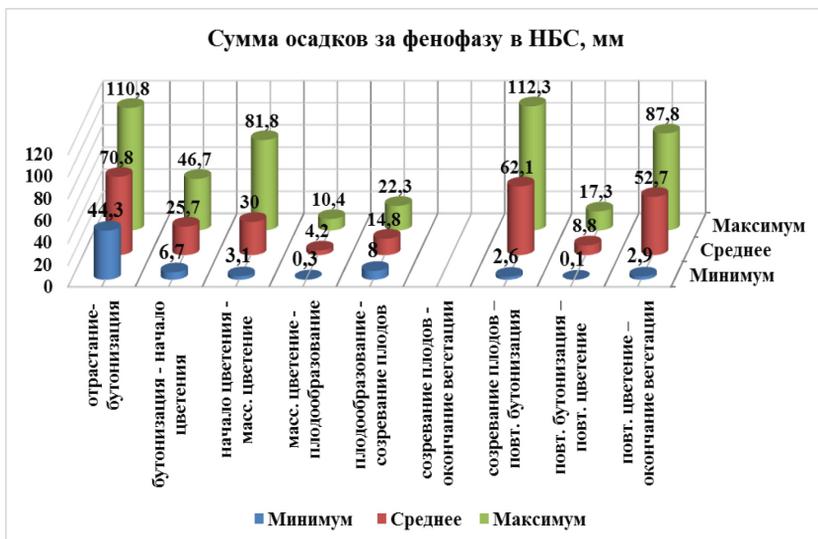


Рис. 2. Сумма осадков по фенологическим фазам в НБС

В этот период среднее количество осадков в обоих регионах отличалось несущественно, но по годам они распределялись неравномерно. Как и

для предыдущих фенофаз, в БСВ и НБС отмечена высокая степень корреляции между длительностью фенофазы и САТ. Также выявлено, что в НБС зависимость между длительностью фенофазы и суммой осадков прямая. Период между массовым цветением и плодообразованием, в среднем по регионам, длится 2-3 недели. В БСВ существенное удлинение до 9 недель отмечено в 2020 г. В 2020 г. САТ к окончанию фазы плодообразования была почти идентичной по обоим регионам; для НБС это значение было минимальным, а для БСВ – максимальным. Для БСВ выявлена прямая зависимость длительности периода между массовым цветением и плодообразованием от САТ. По всем годам проведения опыта сумма осадков в БСВ в 11,8 раз превышала таковую в НБС. В НБС осадков в этот период выпадало очень мало. Отмечена корреляционная зависимость средней степени между длительностью фенофазы и суммой осадков. Период между плодообразованием – созревaniem плодов в БСВ достоверно наиболее коротким был в 2020 г. – в 2 раза короче минимального промежутка в НБС, в 3 раза меньше среднего значения и в 3,3 раза меньше медианы.

Отличие в САТ по регионам, в среднем, составило 480,7°C. Для обоих регионов была выявлена корреляционная зависимость между длительностью фенофазы и САТ: в БСВ она средней степени, а в НБС – прямая. Максимальная сумма осадков по обоим регионам близка, однако другие показатели указывают на существенно большее выпадение осадков в НБС. В БСВ, кроме 2017 г., сумма осадков была очень низкой. В НБС выявлена корреляционная зависимость средней степени между длительностью фенофазы и суммой осадков.

С момента созревания плодов развитие *S. baicalensis* в БСВ и НБС происходит по-разному. В НБС мы отмечаем ежегодные повторные бутонизацию и цветение шлемника после сбора плодов, что возможно вследствие нарастания САТ, вплоть до середины – конца ноября. Как указывает П.Ю. Жмылев с соавторами, при обсуждении причин вторичного цветения основное внимание уделяется различным факторам окружающей среды, включая температуру воздуха, осадки, облачность и т.п. [5]. Мы также можем связать повторное наступление фаз бутонизации и цветения шлемника с экзогенными факторами – САТ и суммой осадков. Коэффициент корреляции одинаков для пары «длительность фенофазы: САТ» по периодам «созревание плодов – повторная бутонизация» и «повторная бутонизация – повторное цветение»: наблюдается отрицательная корреляция средней степени, т.е. чем выше САТ в эти периоды, тем они короче. Коэффициент корреляции пары «длительность фенофазы: осадки» указывает

на то, что чем больше выпадает осадков, тем продолжительнее фенофазы. После созревания плодов на территории НБС ежегодно проходило около двух месяцев до повторной бутонизации, что достоверно короче, чем период между весенним отрастанием и бутонизацией, и, достоверно длиннее, чем остальные периоды между повторными фенофазами. Период между повторными бутонизацией и цветением шлемника непродолжительный (10-15 суток), т.е. примерно такой же, как между этими фенофазами в июне. Период между повторным цветением и окончанием вегетации в 2017 г. был достоверно (в 2 раза) короче его средней длительности.

В БСВ продолжительность периода между созреванием плодов и окончанием вегетации была минимальной в 2020 г. Средняя разность САТ между фенофазами «плодообразование – созревание плодов» и «созревание плодов – окончание вегетации» составила 187,6°C.

В НБС разница между САТ к окончанию периодов «плодообразование – созревание плодов» и «созревание плодов – повторная бутонизация» составила 778,9-1147,4°C. Это прибавка, необходимая после созревания плодов, чтобы в растениях произошло «включение генов идентичности цветковой меристемы (flower meristem identity genes) и, как следствие, активация генов морфогенеза цветка или идентичности его органов (organ identity genes)» [5]. Разница между САТ в периодах «созревание плодов – повторная бутонизация» и «повторная бутонизация – повторное цветение» составила в среднем 136,8°C; при первичном прохождении фенофаз она была в среднем 241,2°C, т.е. при повторном течении фенофаз требуется достоверно меньший перепад САТ. В периодах между созреванием плодов – повторной бутонизацией и повторной бутонизацией – повторным цветением, САТ имеет обратную корреляцию с длительностью, что указывает на сокращение их продолжительности при высокой САТ. Однако в период между повторным цветением и окончанием вегетации отмечена прямая корреляция средней интенсивности между его длительностью и САТ, т.е. чем выше САТ, тем длительнее повторное цветение.

При прохождении растениями повторных фенофаз после созревания плодов наблюдается резкий разброс суммы осадков по годам. В период между созреванием плодов и повторной бутонизацией значение медианы близко к таковому между весенним отрастанием и бутонизацией, но минимум был в 15,3 раза меньше при первом прохождении фенофаз. В этот период, а также между повторной бутонизацией и повторным цветением для растений важна сумма осадков (корреляционная зависимость средней степени). В период между повторным цветением и окончанием вегетации,

величина суммы осадков на его длительность не влияла. Осадков в период между созреванием плодов и окончанием вегетации выпадало существенно больше, чем в предыдущий (в среднем 54,2 мм), что объясняется его значительной длительностью и осенними дождями. Выявлена корреляция средней степени между продолжительностью этого периода и осадками.

Обсуждение результатов

В БСВ в условиях интродукции ритм сезонного развития согласуется с таковым в природных местообитаниях. В НБС ежегодные повторные бутонизация и цветение свидетельствуют о пластичности растения. Периоды между наступлением фенофаз «бутонизация – созревание плодов» достоверно короче, чем между началом отрастания и бутонизацией по обоим регионам и между созреванием плодов и повторной бутонизацией в НБС. Длительность прохождения фенофаз в НБС характеризуется существенно меньшей изменчивостью, чем в БСВ. Прохождение фенологических фаз растениями в НБС опережало их наступление в БСВ за все годы проведения исследований и по всем фазам, кроме окончания вегетации. Разница в длительности вегетационного периода *S. baicalensis* по регионам достигала 72-82 суток; в НБС вегетационный период в среднем в 1,5 раза длиннее, чем в БСВ. Отмечена небольшая вариабельность по его длине в каждом регионе, независимо от погодных условий года. Погодные условия 2020 г. в большей степени сказались на датах и длительности прохождения фенофаз в БСВ, чем в НБС. В БСВ требовалась существенно меньшая САТ для достижения всех фенофаз по сравнению с НБС (в среднем в 2,1 раза). К концу вегетации разница в средней САТ по регионам достигла 1694,6°C. По обоим регионам и по всем годам исследований сумма осадков имела резкие колебания. Для НБС в период вегетации осадки в целом имели более высокую степень корреляции с длительностью фенофаз, чем в БСВ; особенно они важны в период цветения.

Определение критического периода в развитии растений основывается на этапах органогенеза покрытосеменных [4]. В основном исследователи связывают его с нарушением влажности почвы в период с начала дифференциации археспориальной ткани в пыльниках до цветения и оплодотворения [3]. Критические периоды для растений семейства Lamiaceae в доступной литературе не найдены. Поскольку процессы, проходящие в пыльниках, общие с точки зрения эмбриологии цветковых растений, хотя и различны в начальных стадиях заложения микроспорангия и времени дифференциации археспория [20], возможно, и для *S. baicalensis* критическим является период от весеннего отрастания до начала цветения.

Заключение

Вторичное цветение, широкие амплитуды длительности фенофаз и вегетационного периода в целом, САТ и суммы осадков по обоим регионам свидетельствуют об экологической пластичности *S. baicalensis*. Метеоусловия в НБС за годы исследования характеризовались большей стабильностью, чем в БСВ. В обоих регионах существуют условия для выращивания *S. baicalensis*.

Работа выполнена по теме НИР FGUU-2022-0014

Список литературы

1. Басалаева И.В., Грязнов М.Ю., Тоцкая С.А. *Scutellaria baicalensis* Georgi в условиях культуры в Нечерноземной зоне России // Современные тенденции развития технологий здоровьесбережения: сборник трудов международной научной конференции молодых учёных. Москва: ФГБНУ ВИЛАР. 2020. С. 14-18. https://doi.org/10.52101/9785870190921_2021_8_14
2. Белолобцев А.И., Асауляк И.Ф. Агроклиматическое обеспечение производственных процессов сельскохозяйственных культур в условиях центрального района Нечерноземной зоны // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2013. № 4. С. 66-84.
3. Биология критического периода растений в условиях нарушения влажности почвы / Г.А. Воробейков, В.Н. Бредихин, В.Н. Лебедев, В.С. Юргина // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. 2015. № 173. С. 109-121.
4. Биология развития культурных растений : учеб. пособие для биол. спец. вузов / Куперман Ф.М., Ржанова Е.И., Мурашёв В.В., Львова И.Н., Седова Е.А., Ахундова В.А., Щербина И.П. Москва: Высшая школа, 1982. 343 с.
5. Жмылев П.Ю., Карпухина Е.А., Жмылева А.П. Вторичное цветение: индукция и нарушения развития // Журнал общей биологии. 2009. Т. 70, № 3. С. 262-273.
6. Информационно-аналитическая система «Особо охраняемые природные территории России» (ИАС «ООПТ РФ») / ФГБУ «ААНИИ», Лаборатория геоинформационных технологий. 06.12.2012. URL: <http://oopt.aari.ru/> (дата обращения: 07.04.2022).
7. Клементьева Л.А., Ларина О.В. Интродукция шлемника байкальского на Алтае с перспективой использования в озеленении // Субтропическое и декоративное садоводство. 2018. № 64. С. 44-50.

8. Конспект флоры Азиатской России: сосудистые растения / Под ред. К.С. Байкова. Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 2012. 640 с. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4146886>
9. Корниевская Т.В. Прохождение фенологических фаз у астрагалов, интродуцируемых в условиях Кулундинской степи // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181, № 1. С. 97-104. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-1-97-104>
10. Кравцова Л.П. Изучение фенологических особенностей лекарственных растений семейства Lamiaceae Lindl. при интродукции в Хакасии // Вестник Тверского Государственного Университета. Серия: Биология и Экология. 2019. № 3(55). С. 123-129. <https://doi.org/10.26456/vtbio104>
11. Маняхин А.Ю., Зорикова С.П., Зорикова О.Г. Интродукция шлемника байкальского в условиях юга Приморского края // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т. 15, № 3-2. С. 744-747.
12. Особенности развития и антиоксидантные свойства *Scutellaria baicalensis* Georgi при интродукции на Южный берег Крыма / Шевчук О.М., Логвиненко Л.А., Голубкина Н.А., Молчанова А.В. // Сборник научных трудов Государственного Никитского Ботанического Сада. 2018. Т. 146. С. 128-134. <https://doi.org/10.25684/NBG.scbook.146.2018.19>
13. Особенности ритма роста и развития шлемника байкальского при выращивании на юге Томской области / Окладникова Н.Н., Харина Т.Г., Лещук Р.И., Сысоев В.А. // Вестник Томского государственного университета. 2007. № 300-2. С. 205-208.
14. Павлова П.А., Егорова П.С. Интродукционное испытание *Scutellaria baicalensis* Georgi (шлемника байкальского) в Якутском ботаническом саду // Наука и образование. 2015. № 3(79). С. 101-104.
15. Приоритеты развития лекарственного растениеводства в условиях постпандемии / Воронкова О.Ю., Волохова Т.В., Лебедева Е.С., Смирнова А.В., Тубалец А.А. // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Т. 14, №1. С.436-451. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-1-436-451>
16. Рекомендации по возделыванию лекарственных растений в Бурятии / сост. В.М. Шишмарев, Т.М. Шишмарева, Т.А. Асеева; Отв. ред. Т. П. Анцупова; Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2018. 172 с.
17. Рекомендации по унификации фенологических наблюдений в России / Минин А.А., Ананин А.А., Буйволов Ю.А., Ларин Е.Г., Лебедев П.А., Поликарпова Н.В., Прокошева И.В., Руденко М.И., Сапельникова И.И., Федотова В.Г., Шуйская Е.А., Яковлева М.В., Янцер О.В. // Nature

- Conservation Research. Заповедная Наука. 2020. Т. 5, № 4. С. 89-110. <https://doi.org/10.24189/ncr.2020.060>
18. Санданов Д.В., Найданов Б.Б., Шишмарёв В.М. Влияние региональных и локальных факторов среды на распространение и структуру популяций *Scutellaria baicalensis* Georgi // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2017. № 38. С. 89-103. <https://doi.org/10.17223/19988591/38/5>
 19. Справочно-информационный портал: Погода и климат / Климатический монитор. 2004-2022. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru> (дата обращения: 07.04.2021).
 20. Формирование стенки микроспорангия пыльника и типизация тапетума покрытосеменных растений / Шамров И.И., Анисимова Г.М., Бабро А.А. // Ботанический журнал. 2019. Т. 104, № 7. С. 1001-1032. <https://doi.org/10.1134/S0006813619070093>
 21. Чжуд-ши: канон тибетской медицины / Пер. с тибет., предисл., примеч., указ. Д.Б. Дашиева; Отв. ред. С.М. Николаев. Москва: «Восточная литература», 2001. 766 с.
 22. Чирикова Н.К., Оленников Д.Н., Танхаева Л.М. Фармакогностическое исследование надземной части шлемника байкальского (*Scutellaria baicalensis* Georgi) // Химия растительного сырья. 2009. № 1. С. 73-78.
 23. Чудновская Г.В. Изучение биологических особенностей *Scutellaria baicalensis* Georgi в Восточном Забайкалье с целью интродукции // Достижения науки и техники АПК. 2013. № 9. С. 43-46; Её же. Роль эколого-биологических характеристик лекарственных растений Восточного Забайкалья в оценке продуктивности их сырья // Научные Ведомости Белгородского Государственного Университета. Серия: Естественные науки. 2013. № 24 (167). С. 57-65.
 24. Cheng C.S., Chen J., Tan H.Y., Wang N., Chen Z., Feng Y. *Scutellaria baicalensis* and cancer treatment: recent progress and perspectives in biomedical and clinical studies // The American Journal of Chinese Medicine. 2018. Vol. 46, No. 3. P. 25-54. <https://doi.org/10.1142/S0192415X18500027>
 25. Stockli R., Vidale P.L. European plant phenology and climate as seen in a 20-year AVHRR land-surface parameter dataset // International Journal of Remote Sensing. 2004. Vol. 25, No. 17. P. 3303-3330. <https://doi.org/10.1080/01431160310001618149>
 26. Wadgyman S.M., Ogilvie J.E., Inouye D.W., Weis A.E., Anderson J.T. Phenological responses to multiple environmental drivers under climate change: insights from a long-term observational study and a manipulative field experiment // New Phytologist. 2018. Vol. 218, No. 2. P. 517-529. <https://doi.org/10.1111/187021>

27. Wu Yi-H., Chuang L.-P., Yu C.-L., Wang S.-W., Chen H.-Y., Chang Y.-L. Anti-coagulant effect of wogonin against tissue factor expression // *European Journal of Pharmacology*. 2019. Vol. 859. P. 172517. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2019.172517>
28. Zhao T., Tang H., Xie L., Zheng Y., Ma Z., Sun Q., Li X. *Scutellaria baicalensis* Georgi. (Lamiaceae): a review of its traditional uses, botany, phytochemistry, pharmacology and toxicology // *Journal of Pharmacy and Pharmacology*. 2019. Vol. 7, No. 9. P. 1353-1369. <https://doi.org/10.1111/jphp.13129>

References

1. Basalaeva I.V., Gryaznov M.Yu., Totskaya S.A. *Scutellaria baicalensis* Georgi v usloviyakh kul'tury v Nechernozemnoy zone Rossii [Biological features of *Scutellaria baicalensis* Georgi cultivated in the conditions of Russia non-chernozem zone]. *Sovremennyye tendentsii razvitiya tekhnologii zdorov'esberezheniya: sbornik trudov mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh* [Proceedings of the International scientific conference of young scientists. Modern trends in the development of health-saving technologies], Moscow: VILAR, 2020, pp. 14-18. https://doi.org/10.52101/9785870190921_2021_8_14
2. Belolyubtsev A.I., Asaulyak I.F. Agroklimaticheskoe obespechenie produktsionnykh protsessov sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v usloviyakh tsentral'nogo rayona Nechernozemnoy zony [Agro-climatic resourcing of crop productional processes under the conditions of the central region in the nonchernozem zone]. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy], 2013, no. 4, pp. 66-84.
3. Vorobeykov G.A., Bredikhin V.N., Lebedev V.N., Yurgina V.S. Biologiya kriticheskogo perioda rasteniy v usloviyakh narusheniya vlazhnosti pochvy [Critical period biology of plants in the conditions violating soil humidity]. *Izvestiya Rossiyskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A.I. Gertsena* [Izvestia: Herzen University Journal of Humanities & Sciences], 2015, no.173, pp.109-121.
4. Kuperman F.M., Rzhanova E.I., Murashev V.V., L'vova I.N., Sedova E.A., Akhundova V.A., Shcherbina I.P. *Biologiya razvitiya kul'turnykh rasteniy* [Biology of the development of cultivated plants]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 1982, 343 p.
5. Zhmylev P.Yu., Karpukhina E.A., Zhmyleva A.P. Vtorichnoe tsvetenie: induktsiya i narusheniya razvitiya [Secondary flowering: the induction and development abnormalities]. *Zhurnal obshchey biologii* [Journal of General Biology], 2009, vol.70, no. 3, pp. 262-273.

6. *Informazionno-analiticheskaya Sistema: Osobo okhranyaemy'e prirodny'e territorii Rossii* [Information and analytical system: Specially protected natural territories of Russia]. 06.12.2012. URL: <http://oopt.aari.ru/> (accessed April 7, 2021).
7. Klement'eva L.A., Larina O.V. Introduktsiya shlemnika baykal'skogo na Altae s perspektivoy ispol'zovaniya v ozelenenii [Introduction of *Scutellaria baicalensis* in Altai with a view to using for ornamental purposes]. *Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo*, 2018, no. 64, pp. 44-50.
8. *Konspekt flory Aziatskoy Rossii: sosudistye rasteniya* [Conspectus florae Rossiae Asiaticae: plantae vasculares]. Managing editor K.S. Baykov. Novosibirsk: Sibirskoe otdelenie RAN Publ., 2012, 640 p. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4146886>
9. Kornievskaya T.V. Prokhozhdenie fenologicheskikh faz u astragalov, introdutsiruemykh v usloviyakh Kulundinskoy stepi [Passage through phenophases by milkvetches introduced into the environments of the Kulunda steppe]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* [Proceedings on applied botany, genetics and breeding], 2020, vol. 181, no.1, pp. 97-104. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-1-97-104>
10. Kravtsova L.P. Izuchenie fenologicheskikh osobennostey lekarstvennykh rasteniy semeystva Lamiaceae Lindl. pri introduktsii v Khakasii [The study of phenological characteristics of medicinal plants of the family Lamiaceae Lindl. introduced in the Republic of Khakassia]. *Vestnik Tverskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: Biologiya i Ekologiya* [Scientific journal Bulletin of Tver State University. Series: Biology and Ecology], 2019, no. 3(55), pp. 123-129. <https://doi.org/10.26456/vtbio104>
11. Manyakhin A.Yu., Zorikova S.P., Zorikova O.G. Introduktsiya shlemnika baykal'skogo v usloviyakh yuga Primorskogo kraja [Introduction of *Scutellaria baicalensis* in conditions of south of Primorskiy Krai]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2013, vol. 15, no. 3-2, pp. 744-747.
12. Shevchuk O.M., Logvinenko L.A., Golubkina N.A., Molchanova A.V. Osobennosti razvitiya i antioksidantnye svoystva *Scutellaria baicalensis* Georgi pri introduktsii na Yuzhnyy bereg Kryma [Peculiarities of development and antioxidant properties *Scutellaria baicalensis* Georgi. at introduction to the Southern coast of Crimea]. *Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo Botanicheskogo Sada*, 2018, vol. 146, pp. 128-134. <https://doi.org/10.25684/NBG.scbook.146.2018.19>
13. Okladnikova N.N., Kharina T.G., Leshchuk R.I., Sysoev V.A. Osobennosti ritma rosta i razvitiya shlemnika baykal'skogo (*Scutellaria baicalensis* Georgi) pri vyrashchivaniy na yuge Tomskoy oblasti [Peculiarities of the growth rhythm and devel-

- opment of baikal skullcap (*Scutellaria baicalensis* Georgi) at cultivation in a south of Tomsk region]. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Biologiya* [Tomsk State University Journal of Biology], 2007, no. 300-2, pp. 205-208.
14. Pavlova P.A., Egorova P.S. Introduktsionnoe ispytanie *Scutellaria baicalensis* Georgi (shlemnika baykal'skogo) v Yakutskom botanicheskom sadu [Introduction trial of *Scutellaria baicalensis* Georgi (baikal skullcap) in the Yakut Botanical Garden]. *Nauka i obrazovanie*, 2015, no. 3(79), pp. 101-104.
 15. Voronkova O.Ju., Volohova T.V., Lebedeva E.S., Smirnova A.V., Tubalec A.A. Prioritety razvitiya lekarstvennogo rastenievodstva v usloviyah postpandemii [Priorities for the development of medicinal plant growing in a post-pandemic environment]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture* [Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture], 2021, vol. 14, no. 1, pp. 436-451 <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-1-436-451>
 16. *Rekomendatsii po vozdeleyvaniyu lekarstvennykh rasteniy v Buryatii* [Recommendations for growing of medicinal plants in Buryatia]. Managing editor T.P. Antsupova; Institut obshchey i eksperimental'noy biologii SO RAN. Ulan-Ude: Buryat Scientific Center SB RAS Publ., 2018, 172 p.
 17. Minin A.A., Ananin A.A., Buyvolov Yu.A., Larin E.G., Lebedev P.A., Polikarpova N.V., Prokosheva I.V., Rudenko M.I., Sapel'nikova I.I., Fedotova V.G., Shuyskaya E.A., Yakovleva M.V., Yantser O.V. Rekomendatsii po unifikatsii fenologicheskikh nablyudeniy v Rossii [Recommendations to unify phenological observations in Russia]. *Zapovednaya Nauka* [Nature Conservation Research], 2020, vol. 5, no. 4, pp. 89-110. <https://doi.org/10.24189/ncr.2020.060>
 18. Sandanov D.V., Naydanov B.B., Shishmarev V.M. Vliyanie regional'nykh i lokal'nykh faktorov srede na rasprostranenie i strukturu populyatsiy *Scutellaria baicalensis* Georgi [Influence of regional and local environmental factors on the distribution and population structure of *Scutellaria baicalensis* Georgi]. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Biologiya* [Tomsk State University Journal of Biology], 2017, no. 38, pp. 89-103. <https://doi.org/10.17223/19988591/38/5>
 19. *Spravochno-informatsionnyy portal "Pogoda i klimat". Klimaticheskij monitor* [Reference and information portal "Weather and climate". Climate monitor]. 2004-2022. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru> (accessed April 7, 2021).
 20. Shamrov I.I., Anisimova G.M., Babro A.A. Formirovanie stenki mikrosporangiya pyl'nika i tipizatsiya tapetuma pokrytosemennyykh rasteniy [Formation of anther microsporangium wall, and typification of tapetum in angiosperms], *Botanicheskii zhurnal*, 2019, vol. 104, no. 7, pp. 1001-1032. <https://doi.org/10.1134/S0006813619070093>

21. Chzhud-shi: Kanon tibetskoj medicziny` [Zhud-shi: The Canon of Tibetan Medicine]. Managing editor S.M. Nikolaev, translated from Tibetan D.B. Dashiev. Moscow: Vostochnaya literatura Publ., 2001, 766 p.
22. Chirikova N.K., Olennikov D.N., Tankhaeva L.M. Farmakognosticheskoe issledovanie nadzemnoy chasti shlemnika baykal'skogo (*Scutellaria baicalensis* Georgi) [Pharmacognostic investigation of aerial part of scullcap (*Scutellaria baicalensis* Georgi)]. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ya*, 2009, no. 1, pp. 73-78.
23. Chudnovskaya G.V. Izuchenie biologicheskikh osobennostey *Scutellaria baicalensis* Georgi v Vostochnom Zabaykal'e s tsel'yu introduktsii [Tudying of biological peculiarities of *Scutellaria baicalensis* Georgi in Eastern Transbaikalia with the purpose of introduction]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial complex], 2013, no. 9, pp. 43-46; Rol' ekologo-biologicheskikh kharakteristik lekarstvennykh rasteniy Vostochnogo Zabaykal'ya v otsenke produktivnosti ikh syr'ya [Ecological and biological description of the East Transbaikalia medicinal herbs role for the evaluation of their crude drugs productivity]. *Nauchnye Vedomosti Belgorodskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: Estestvennye nauki* [Belgorod State University. Scientific Bulletin. Series: Natural sciences], 2013, no. 24(167), pp. 57-65.
24. Cheng C.S. *Scutellaria baicalensis* and cancer treatment: recent progress and perspectives in biomedical and clinical studies. *The American Journal of Chinese Medicine*, 2018, v.46, no.3, pp. 25-54. <https://doi.org/10.1142/S0192415X18500027>
25. Stockli R. European plant phenology and climate as seen in a 20-year AVHRR land-surface parameter dataset. *International Journal of Remote Sensing*, 2004, vol. 25, no. 17, pp. 3303–3330. <https://doi.org/10.1080/01431160310001618149>
26. Wadgyamar S.M., Ogilvie J.E., Inouye D.W., Weis A.E., Anderson J.T. Phenological responses to multiple environmental drivers under climate change: insights from a long-term observational study and a manipulative field experiment. *New Phytologist*, 2018, vol. 218, no. 2, pp. 517-529. <https://doi.org/10.1101/187021>
27. Wu Yi-H., Chuang L.-P., Yu C.-L., Wang S.-W., Chen H.-Y., Chang Y.-L. Anticoagulant effect of wogonin against tissue factor expression. *European Journal of Pharmacology*, 2019, vol. 859, 172517. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2019.172517>
28. Zhao T., Tang H., Xie L., Zheng Y., Ma Z., Sun Q., Li X. *Scutellaria baicalensis* Georgi. (Lamiaceae): a review of its traditional uses, botany, phytochemistry, pharmacology and toxicology. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 2019, vol. 71, no. 9, pp. 1353-1369. <https://doi.org/10.1111/jph.13129>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Бабаева Елена Юрьевна, кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории Ботанический сад
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных
и ароматических растений*
ул. Грина, 7, стр. 1, г. Москва, 117216, Российская Федерация
babaeva@vilarnii.ru

Миняева Юлия Мирославовна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории Ботанический сад
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных
и ароматических растений*
ул. Грина, 7, стр. 1, г. Москва, 117216, Российская Федерация
bot.gard.vilar@yandex.ru

Логвиненко Лидия Алексеевна, научный сотрудник лаборатории ароматических и лекарственных растений
*Никитский ботанический сад - Национальный научный центр РАН
спуск Никитский, 52, пгт. Никита, г. Ялта, Республика Крым,
298648, Российская Федерация*
logvinenko-1963@list.ru

Молчанова Анна Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лабораторно-аналитического центра
Федеральный научный центр овощеводства
ул. Селекционная, 14, пос. ВНИИССОК, Одинцовский район, Московская обл., 143072, Российская Федерация
vovka_ks@rambler.ru

DATA ABOUT THE AUTORS

Elena Yu. Babaeva, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, Laboratory of Botanical Garden
All-Russian Scientific Research Institute Of Medicinal and Aromatic Plants
7/1, Grina Str., Moscow, 117216, Russian Federation
babaeva@vilarnii.ru

Yulia M. Minyazeva, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher,
Laboratory of Botanical Garden
*All-Russian Scientific Research Institute Of Medicinal and Aromatic
Plants*
7/1, Grina Str., Moscow, 117216, Russian Federation
bot.gard.vilar@yandex.ru

Lidiya A. Logvinenko, Researcher, Laboratory of Aromatic and Medicinal
Plants
Nikitsky Botanical Garden - National Science Center
52, Nikitsky descent, Nikita, Yalta, Republic of Crimea, 298648, Russian
Federation
logvinenko-1963@list.ru

Anna V. Molchanova, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher,
Laboratory and Analytical Center
Federal Scientific Vegetable Center
14, Seleksionnaya Str., VNISSOK, Odintsovo urban district, Moscow
region, 143080, Russian Federation
vovka_ks@rambler.ru

Поступила 22.07.2022

После рецензирования 30.08.2022

Принята 07.09.2022

Received 22.07.2022

Revised 30.08.2022

Accepted 07.09.2022

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

PUBLIC HEALTH AND PREVENTIVE MEDICINE

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-229-252

УДК 159.9:578.834.1



Научная статья | Медицинская психология

КОГНИТИВНАЯ И АФФЕКТИВНО-ЭМОЦИОНАЛЬНАЯ СФЕРА ПАЦИЕНТОВ, ПЕРЕБОЛЕВШИХ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИЕЙ И НАХОДЯЩИХСЯ НА РЕАБИЛИТАЦИИ

*О.В. Борисов, Д.В. Гартфельдер,
А.Н. Захарова, Е.С. Комарова, Г.С. Дулина*

Обоснование. С того момента как ВОЗ официально объявило начало глобальной пандемии COVID-19, было опубликовано много научных статей, посвящённых различным аспектам её влияния на психическую сферу, однако остаются не до конца изученными отдельные вопросы, касающиеся психологических особенностей людей, перенёвших коронавирусную инфекцию. Во многих исследованиях отмечается, что тревога и депрессия, когнитивные и аффективные нарушения являются частыми спутниками постковидного синдрома и сохраняются после лечения, даже когда ослабевают основные симптомы заболевания.

Цель исследования: изучение когнитивной и аффективно-эмоциональной сферы пациентов, переболевших коронавирусной инфекцией, на момент прохождения ими медико-реабилитационных мероприятий.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 100 пациентов, проходящих медицинскую реабилитацию, в том числе 55 человек с травма-

тологическими заболеваниями, неврологическими нарушениями, и нарушениями сердечно-сосудистой системы (которых 27 мужчин и 28 женщин в возрасте 57 ± 10 лет) и 45 пациентов, перенёвших пневмонию, вызванную коронавирусной инфекцией (11 мужчин и 34 женщины в возрасте 58 ± 12 лет). Исследование проводилось с использованием Монреальской шкалы оценки когнитивных умений (MoCA), Госпитальной шкалы тревоги и депрессии (HADS) и шкалы «Самочувствие, Активность, Настроение» (САН). Для обработки результатов исследования применялись методы математико-статистической обработки данных, включающие вычисление описательных статистик, корреляционного коэффициента Пирсона, t -критерия Стьюдента для независимых групп, угловое преобразование ϕ^* Фишера, определение достоверности различий между коэффициентами корреляции с помощью преобразования Фишера и последующей оценки статистической значимости различий по распределению t -Стьюдента. Математико-статистическая обработка данных осуществлена на основе пакета MS Office Excel 2016.

Результаты. Анализ частоты распространённости отдельных нарушений по методике MoCA показал, что в группе коронавирусных пациентов выше доля тех, кто имеет выраженные нарушения мнестических функций и устойчивости внимания. Анализ эмоциональных нарушений по шкалам HADS показал, что в группе коронавирусных пациентов выше доля тех, кто имеет клинически выраженные симптомы тревоги, а также субклинически выраженные симптомы депрессии. Более половины пациентов из обеих исследуемых групп имеют показатели тревоги и депрессии в пределах нормы, однако постковидные пациенты значительно чаще испытывают симптомы тревоги клинически выраженного уровня. Пациенты, перенёвшие коронавирусную инфекцию, достоверно чаще имеют клинически выраженный уровень тревоги, одновременно с этим у них значительно реже отмечается уровень тревоги в пределах нормы. По методике САН выявлены различия по шкалам «Самочувствие» и «Настроение», показатели которых у коронавирусных пациентов выше; в отношении шкалы «Активность» наблюдается обратная ситуация.

Заключение. Были выявлены статистически значимые различия между выборками по изучаемым показателям, а также общие и специфические для выделенных групп статистически значимые корреляционные взаимосвязи. Полученные результаты могут оказаться полезными для специалистов в области здравоохранения, работающих с постковидными пациентами, а также с учётом специфики выявленных психологических характеристик могут

найти своё применение в работе психолога, сопровождающего постковидных клиентов и занимающимся проблемами социальной и психологической реабилитации постковидных пациентов.

Ключевые слова: *коронавирусная инфекция; расстройства настроения; нарушения когнитивной сферы; сравнительный анализ; тревожно-депрессивные расстройства; психологическая реабилитация*

Для цитирования. *Борисов О.В., Гартфельдер Д.В., Захарова А.Н., Комарова Е.С., Дулина Г.С. Когнитивная и аффективно-эмоциональная сфера пациентов, переболевших коронавирусной инфекцией и находящихся на реабилитации // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №1. С. 229-252. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-229-252*

Original article | Medical Psychology

COGNITIONS AND EMOTIONS OF PATIENTS DURING POST-COVID REHABILITATION

*O.V. Borisov, D.V. Hartfelder,
A.N. Zakharova, E.S. Komarova, G.S. Dulina*

Background. *A lot of scientific articles have been published since the global COVID-19 pandemic was officially announced by WHO. Although different aspects of COVID-19 impact on the mental sphere were studied, some issues regarding the psychological characteristics of those who have had a coronavirus infection are still not fully revealed. It is noted by many authors that even when the main symptoms of the disease are subsided, symptoms of anxiety, depression, cognitive & mood disorders are still persistent even after the treatment.*

Purpose: *to study cognitive and emotional spheres of patients who are recovering from coronavirus infection and currently undergoing rehabilitation procedures.*

Materials and methods. *The study involved 100 patients undergoing medical rehabilitation, 55 of them are recovering from traumatological, neurological and cardiovascular disorders (27 male and 28 female patients, aged 57±10) and 45 patients are recovering from pneumonia caused by coronavirus infection (11 male and 34 female patients, aged 58±12). The study was conducted using the Montreal Cognitive Assessment Scale (MoCA), the Hospital Anxiety & Depression Scale (HADS), and the Health-Activity-Mood Scale (SAN). Statistical analysis of raw data had included calculation of descriptive statistics, Pearson's correlation coefficient, Student's t-test for independent groups, Fisher's ϕ^* transformation and*

significance of correlation coefficients differences with Fisher's transformation & Student T-distribution, and was processed with Microsoft Office Excel 2016 build-in data analysis package.

Results. Analysis of MoCA results showed that ratio of severe impairments of memory functions and attention span is higher in post-COVID group of patients. This group also had higher rate of anxiety symptoms and sub-clinical depression state. In both groups more than a half of the patients have average level of anxiety and depression, however patients from post-COVID group are more likely to experience more symptoms of anxiety than non-COVID patients. Patients from post-COVID group are significantly more likely to have a higher scores of anxiety compared to patients in the other group and at the same time they are less likely to have average anxiety level. Differences between groups were discovered for "Health" and "Mood" scales of SAN with higher scores among post-COVID patients as well as lower scores for "Activity" scale.

Conclusion. Statistically significant differences between the groups were found; common and specific correlations were found for both groups. The results may be useful for healthcare professionals working with post-COVID patients, and can also be used by psychologists who deal with the problems of social and psychological rehabilitation of post-COVID patients.

Keywords: COVID-19; mood disorders; cognitive disorders; comparative analysis; anxiety disorders; depression; psychological rehabilitation

For citation. Borisov O.V., Hartfelder D.V., Zakharova A.N., Komarova E.S., Dulina G.S. Cognitions and Emotions of Patients During Post-COVID Rehabilitation. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 229-252. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-229-252

Введение

Пандемия COVID-19 повлекла за собой проблемы в различных сферах жизни общества: социальной, экономической, сферы здравоохранения и др. [16; 17]. Широкое распространение получили не только в России, но и во всем мире, физические, психические [9], профессиональные [8], социальные [21], поведенческие [13; 14] и психологические последствия для переболевших [24].

В самом начале пандемии исследователи преимущественно сосредотачивали своё внимание на тяжёлых симптомах основного заболевания, вызванного новой вирусной инфекцией, однако в дальнейшем по мере поступления новой информации и результатов различных исследований постепенно начали актуализироваться новые, ранее не находившиеся в

фокусе внимания учёных, проблемы. Последствия основного заболевания имеют тенденцию к пролонгированному характеру их проявления и при этом могут сопровождаться разнообразными проявлениями и симптомами [1]. На данный момент в научной среде уже есть сложившееся представление о том, что существует целый комплекс разнообразных симптомов и состояний, вызванных коронавирусной инфекцией, которые сохраняются в течение длительного времени после начала основного заболевания [3] – так называемый «постковидный синдром». Широкая распространённость постковидного синдрома является важной проблемой, связанной с вопросами общественного здоровья. Другая причина важности данной темы исследования связана главным образом со снижением качества жизни у переболевших коронавирусной инфекцией. В этом случае широкая распространённость физических и психических постковидных симптомов может выступить одной из причин ухудшения производительности труда, что, по мнению некоторых авторов, может в дальнейшем иметь негативные экономические последствия [23]. У людей, переболевших коронавирусной инфекцией, также зачастую отмечается снижение уровня субъективного восприятия благополучия, которое связано как с тяжестью течения самого заболевания и его воздействием на здоровье, так и с внешними обстоятельствами, такими как опасение за своё здоровье и здоровье близких, ситуации неопределённости, социальная изоляция и т.д. [7]. Вышеизложенные аргументы свидетельствуют о том, что изучение психического состояния постковидных больных крайне важно при разработке, организации и практической реализации мультидисциплинарных практических подходов и конкретных мер, ставящих своей целью сохранение здоровья и благополучия людей. В связи с этим также возникает необходимость изучения негативных эффектов, вызванных последствиями коронавирусной инфекции.

С того момента как ВОЗ официально объявило начало глобальной пандемии COVID-19, было опубликовано много научных статей, посвящённых различным аспектам её влияния на психическую сферу, однако остаются не до конца изученными отдельные вопросы, касающиеся психологических особенностей людей, перенёвших коронавирусную инфекцию. Во многих исследованиях отмечается, что тревога и депрессия часто являются спутниками постковидного синдрома и сохраняются после лечения, даже когда ослабевают основные симптомы заболевания. Научный интерес представляет структура эмоциональных переживаний таких пациентов.

Целью данного исследования являлось изучение когнитивной и аффективно-эмоциональной сферы пациентов, переболевших коронавирусной инфекцией, на момент прохождения ими реабилитационных мероприятий.

Были сформулированы следующие исследовательские вопросы:

1. Каковы особенности эмоциональной и когнитивной сферы у пациентов, перенёсших COVID-19?
2. Существуют ли различия между пациентами, перенёсшими COVID-19, и пациентами других нозологических групп?

Гипотеза: когнитивные и эмоциональные нарушения пациентов, проходящих реабилитацию после перенесённой коронавирусной инфекции, отличаются от нарушений у пациентов с другими заболеваниями выраженностью снижения когнитивных функций, ухудшением субъективно воспринимаемого эмоционального фона и увеличением уровня тревожности и депрессии.

Материалы и методы исследования

Исследование было проведено на базе отделения медицинской реабилитации при БУ «Первая Чебоксарская городская больница имени П.Н. Осипова». В исследовании в качестве испытуемых приняли участие группа из 45 пациентов (34 женщины и 11 мужчин возрасте 58 ± 12 лет), перенёсших пневмонию, вызванную коронавирусной инфекцией, и контрольная группа из 55 пациентов (27 мужчин и 28 женщин в возрасте 57 ± 10 лет) с травматологическими заболеваниями, неврологическими нарушениями, а так же с нарушениями сердечно-сосудистой системы. Критериями отбора выступало физическое и психическое состояние пациентов, сохраняющая способность самостоятельно прочитать текст методики и отметить нужный вариант ответа.

В исследовании использовались метод клинической беседы и экспериментально-психологический метод с применением специально отобранного набора психодиагностических методик:

1. Монреальская шкала оценки когнитивных умений (MoCA);
2. Госпитальная шкала тревоги и депрессии (HADS);
3. Шкала «САН» (Самочувствие, Активность, настроение).

Вышеуказанные методики не требуют существенных временных затрат для проведения обследования, что немаловажно в условиях ограниченного времени на приём пациента в отделении реабилитации [20].

Математико-статистическая обработка данных производилась встроенными средствами Microsoft Office Excel 2016 и включала вычисление коэф-

фициента линейной корреляции Пирсона, критерия χ^2 Фишера, t-критерия Стьюдента для независимых групп, а так же углового преобразования ϕ^* Фишера и определения достоверности различий между коэффициентами корреляции с помощью преобразования Фишера и последующей оценки статистической значимости различий на основании t-распределения Стьюдента.

Результаты

В Таблице 1 представлены различия между выборками коронавирусных пациентов и пациентов с иными диагнозами.

Таблица 1.

Результаты Монреальской шкалы когнитивной оценки (MoCA)

| Параметры | COVID/Пневмония | | Другой диагноз | |
|----------------------------------|-----------------|----|----------------|----|
| | Абс. | % | Абс | % |
| Норма | 22 | 49 | 22 | 40 |
| Зрительно-конструктивный праксис | 13 | 29 | 18 | 33 |
| Память | 20 | 44 | 22 | 40 |
| Внимание | 12 | 27 | 14 | 25 |
| Речь | 9 | 20 | 16 | 29 |
| Абстракция | 4 | 9 | 5 | 9 |

Можно заключить, что среди коронавирусных пациентов преобладают те, чьи показатели в общем показателе когнитивных умений соответствуют нормативному уровню (49%) по сравнению с контрольной группой (40%).

Анализ частоты распространенности отдельных нарушений продемонстрировал, что в группе коронавирусных пациентов выше доля тех, кто имеет выраженные нарушения мнестических функций (44% по сравнению с 40% в контрольной группе) и нарушения устойчивости внимания (27% и 25% соответственно).

В Таблице 2 представлены результаты статистического анализа достоверности различий по шкалам теста MoCA. Исходя из представленных результатов, можно заключить, что результаты в группах статистически не различаются.

Следует также отметить, что половой состав сравниваемых групп достоверно различается ($\chi^2=7,2864$; $p=0,0069$). В связи с этим было решено разделить всю совокупность суммарной выборки по полу и возрасту, после чего сравнить с помощью t-критерия степень достоверности различий. Результаты сопоставления представлены в Таблице 3.

Таблица 2.

Межгрупповые различия по показателям Монреальской шкалы когнитивной оценки (MoCA)

| Значения показателя | Всего | По группам | | Значимость различий |
|---------------------|------------|---------------------|-------------------|-------------------------------|
| | | COVID/ Пневмония | Другой диагноз | |
| Итоговый балл | 24,84±2,78 | 25,04±12,38 | 24,67±12,39 | t=0,6642; p=0,5081 |
| Апраксии | 31 | 13 | 18 | $\varphi^*=0,4138$; p=0,3395 |
| Амнезии | 42 | 20 | 22 | $\varphi^*=0,4478$; p=0,3271 |
| Нарушения внимания | 26 | 12 | 14 | $\varphi^*=0,1374$; p=0,4454 |
| Афазии | 25 | 9 | 16 | $\varphi^*=1,055$; p=0,1457 |
| Нарушения мышления | 9 | 4 | 5 | $\varphi^*=0,0351$; p=0,4860 |

Таблица 3.

Межгрупповые различия по полу и итоговому показателю MoCA

| Показатель | Женщины | Мужчины | t-критерий Стьюдента | p |
|-----------------|-------------|-------------|-------------------------|-------|
| Возраст | 57,62±10,43 | 58,21±11,59 | 0,26 | 0,79 |
| Общий балл MoCA | 25,34±2,73 | 24,06±2,70 | 2,28 | 0,02* |

Примечание: показатели, отмеченные *, имеют уровень статистической значимости $p < 0,05$; отмеченные **, имеют уровень статистической значимости $p < 0,01$

По показателям общей когнитивной шкалы статистически значимые различия между группами испытуемых, перенёсших коронавирусную инфекцию, и группой пациентов с другими диагнозами не выявлены. Возможной причиной этого является неравномерное распределение испытуемых разного пола в сравниваемых группах.

В Таблице 4 представлены результаты диагностики тревоги и депрессии в группах пациентов, перенёсших и не перенёсших COVID-19.

Таблица 4.

Результаты исследования по госпитальной шкале тревоги и депрессии

| Уровень | COVID/ пневмония | | | | Другой диагноз | | | |
|----------------|------------------|----|-----------|----|----------------|----|-----------|----|
| | Тревога | | Депрессия | | Тревога | | Депрессия | |
| | Абс. | % | Абс. | % | Абс. | % | Абс. | % |
| Норма | 25 | 56 | 36 | 80 | 40 | 73 | 40 | 73 |
| Субклиническая | 7 | 16 | 6 | 13 | 11 | 20 | 6 | 11 |
| Клиническая | 13 | 29 | 3 | 7 | 4 | 7 | 9 | 16 |

Анализ эмоциональных нарушений по шкалам теста тревоги и депрессии показал, что в группе коронавирусных пациентов по сравнению с контрольной группой выше доля тех, кто имеет клинически выраженные симптомы тревоги (29% и 7% соответственно) и субклинически выраженные симптомы депрессии, (13% и 11% соответственно), а также ниже доля лиц с клинически выраженными симптомами депрессии (7% и 16% соответственно). Сопоставление абсолютных значений шкал не позволяет утверждать о наличии статистически значимых различий между группами по уровню тревоги ($7,18 \pm 4,08$ и $6,04 \pm 4,08$ соответственно; $t=1,5001$; $p=0,1368$) и депрессии ($4,78 \pm 3,72$ и $5,4 \pm 3,73$ соответственно; $t=0,7559$; $p=0,4515$). При сопоставлении внутригруппового распределения по степени выраженности показателей были выявлены статистически значимые различия для тревоги ($\chi^2=8,1971$; $p=0,0421$), однако для депрессии подобные различия отсутствуют ($\chi^2=2,2329$; $p=0,5255$).

В Таблице 5 представлены результаты статистического анализа достоверности различий по показателям тревоги и депрессии. Можно заключить, что статистически значимым является различие доли пациентов с нормальным и клинически выраженным показателями уровня тревоги в сопоставляемых группах.

Таблица 5.

Межгрупповые различия по госпитальной шкале тревоги и депрессии

| Уровень результатов | Тревога | | Депрессия | |
|---------------------|----------|--------|-----------|--------|
| | ϕ^* | p | ϕ^* | p |
| Норма | 1,7936* | 0,0364 | 0,8539 | 0,1966 |
| Субклиническая | 0,5794 | 0,2812 | 0,3700 | 0,3557 |
| Клиническая | 2,9291** | 0,0017 | 1,5452 | 0,0611 |

Примечание: показатели, отмеченные *, имеют уровень статистической значимости $p < 0,05$; отмеченные **, имеют уровень статистической значимости $p < 0,01$

Результаты опросника «Самочувствие, Активность, Настроение» представлены в Таблице 6.

Наиболее заметные отличия между группами испытуемых наблюдаются по шкале «Самочувствие»: в группе постковидных пациентов выше доля тех, кто имеет низкий (33% и 20%) и средний уровень показателей (16% и 22%) по сравнению с пациентами контрольной группы.

По шкале «Активность» высокие результаты отмечены у 22% пациентов, переболевших коронавирусной инфекцией, и у 33% пациентов из контрольной группы; результаты ниже среднего отмечаются у 31% и 22% пациентов

соответственно. По шкале «Настроение» среди коронавирусных пациентов высокие показатели отмечены у 53% пациентов, когда как в контрольной группе их доля составляет 67%; низкие – у 27% и 11% соответственно.

Таблица 6.

Результаты исследования по опроснику САН

| Уровень | COVID/Пневмония | | | | | | Другой диагноз | | | | | |
|---------------|-----------------|----|------------|----|------------|----|----------------|----|------------|----|------------|----|
| | Самочувствие | | Активность | | Настроение | | Самочувствие | | Активность | | Настроение | |
| | Абс. | % | Абс. | % | Абс. | % | Абс. | % | Абс. | % | Абс. | % |
| Низкий | 15 | 33 | 17 | 38 | 12 | 27 | 11 | 20 | 21 | 38 | 6 | 11 |
| Ниже среднего | 4 | 9 | 14 | 31 | 1 | 2 | 6 | 11 | 12 | 22 | 5 | 9 |
| Средний | 7 | 16 | 4 | 9 | 8 | 18 | 12 | 22 | 4 | 7 | 7 | 13 |
| Высокий | 19 | 42 | 10 | 22 | 24 | 53 | 26 | 47 | 18 | 33 | 37 | 67 |

В Таблице 7 представлены результаты статистического анализа достоверности различий доли показателей различного уровня по отдельным шкалам опросника САН.

Таблица 7.

φ* критерий Фишера для данных по методике САН

| Уровень результатов | Самочувствие | | Активность | | Настроение | |
|---------------------|--------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | φ* | р= | φ* | р= | φ* | р= |
| Низкий | 1,5107 | 0,0654 | 0,0414 | 0,4835 | 2,0501* | 0,0202 |
| Ниже среднего | 0,3369 | 0,3681 | 1,0516 | 0,1465 | 1,5586 | 0,0595 |
| Средний | 0,8018 | 0,2113 | 0,2954 | 0,3838 | 0,7011 | 0,2416 |
| Высокий | 0,5055 | 0,3066 | 1,1756 | 0,1199 | 1,4229 | 0,0774 |

Примечание: показатели, отмеченные *, имеют уровень статистической значимости $p < 0,05$; отмеченные **, имеют уровень статистической значимости $p < 0,01$

Можно заключить, что статистически значимые различия отмечены лишь по доле испытуемых с низкими результатами по шкале «Настроение».

По результатам корреляционной обработки данных опросников с использованием коэффициента линейной корреляции г К. Пирсона в общей выборке испытуемых выявились следующие межшкальные взаимосвязи:

- положительная корреляционная взаимозависимость возраста и шкалы «Депрессия» ($r=0,1995$; $p<0,05$);
- шкала «Тревога» имеет положительную сильную корреляцию со шкалой Депрессия ($r=0,6856$; $p<0,01$), и отрицательные корреляции со шкалами «Самочувствие» ($r=-0,3364$; $p<0,01$), «Активность» ($r=-0,3596$; $p<0,01$) и «Настроение» ($r=-0,4077$; $p<0,01$);
- шкала «Депрессия» имеет обратные корреляционные взаимосвязи со шкалами «Самочувствие» ($r=-0,4823$; $p<0,01$), «Активность» ($r=-0,5362$; $p<0,01$) и «Настроение» ($r=-0,4420$; $p<0,01$);
- шкала «Самочувствие» положительно коррелирует со шкалами «Активность» ($r=0,5511$; $p<0,01$) и «Настроение» ($r=0,7319$; $p<0,01$), а шкала «Активность» имеет положительную корреляцию со шкалой «Настроение» ($r=0,3694$; $p<0,01$).

Для контрольной группы пациентов выявлены следующие взаимосвязи:

- отмечается обратная корреляция между итоговым показателем MoCA и шкалой депрессии опросника HADS ($r=-0,3301$; $p<0,05$), а так же положительная корреляция со шкалой «Активность» опросника САН ($r=0,3083$; $p<0,05$);
- для шкалы тревоги опросника HADS наиболее выраженными являются положительная взаимосвязь со шкалой депрессии ($r=0,7356$; $p<0,01$) и отрицательные взаимосвязи со шкалой «Активность» ($r=-0,5135$; $p<0,01$) и в меньшей степени с другими шкалами опросника САН – «Самочувствие» ($r=0,3664$; $p<0,05$) и «Настроение» ($r=-0,2866$; $p<0,05$);
- у шкалы депрессии теста HADS наблюдается отрицательная взаимосвязь со всеми шкалами опросника САН – «Самочувствие» ($r=-0,4948$; $p<0,01$), «Активность» ($r=-0,5788$; $p<0,01$) и «Настроение» ($r=-0,4114$; $p<0,01$);
- шкала «Самочувствие» положительно коррелирует со шкалами «Активность» ($r=0,5706$; $p<0,01$) и «Настроение» ($r=0,7616$; $p<0,01$), а шкала «Активность» имеет положительную корреляцию со шкалой «Настроение» ($r=0,4127$; $p<0,01$).

В группе пациентов, перенёвших COVID-19, выявлены следующие взаимосвязи:

- для шкалы тревоги HADS отмечены сильные положительная корреляция со шкалой депрессии ($r=0,6663$; $p<0,01$) и отрицательная взаимосвязь со шкалой «Настроение» опросника САН ($r=-0,5064$; $p<0,01$);

- отмечаются сильные отрицательные корреляции шкалы депрессии HADS со всеми шкалами опросника САН – «Самочувствие» ($r=-0,4999$; $p<0,01$), «Активность» ($r=-0,4831$; $p<0,01$) и «Настроение» ($r=-0,5362$; $p<0,01$).

Сопоставив корреляционные взаимосвязи в группах испытуемых, можно отметить, что отличительными особенностями группы пациентов, перенёвших COVID-19, является отсутствие отрицательной взаимосвязи итогового показателя MoCA со шкалой депрессии HADS ($r=-0,03033$; $p>0,05$).

Для определения достоверности различий коэффициентов корреляции в группах пациентов, перенёвших и не перенёвших коронавирусную инфекцию, было произведено преобразование Фишера и вычисление значимости по t-критерию. Результаты представлены в Таблице 8.

Таблица 8.

Различия межшкальных корреляций в группах испытуемых

| | MoCA | HADS: Тревога |
|------------|---|--|
| САН: | $r_{\text{COVID}}=0,0530$; $r_{\text{неCOVID}}=0,3083^*$ | $r_{\text{COVID}}=-0,1691$; $r_{\text{неCOVID}}=-0,5153^{**}$ |
| Активность | $T_{\phi}=1,3214$; $p=0,1894$ | $T_{\phi}=1,9863^*$; $p=0,0498$ |
| САН: | $r_{\text{COVID}}=-0,0017$; $r_{\text{неCOVID}}=0,0156$ | $r_{\text{COVID}}=-0,5064^{**}$; $r_{\text{неCOVID}}=-0,2866^*$ |
| Настроение | $T_{\phi}=0,0861$; $p=0,9315$ | $T_{\phi}=1,3082$; $p=0,1939$ |

Примечание: показатели, отмеченные *, имеют уровень статистической значимости $p<0,05$; отмеченные **, имеют уровень статистической значимости $p<0,01$

Наиболее достоверные различия между корреляционными показателями групп испытуемых выявлены для взаимосвязей между шкалой «Активность» САН и показателем шкалы тревоги HADS. Статистически значимых различий других корреляций в группах выявлено не было.

Обсуждение

Таким образом, результаты статистической обработки, предполагавшей сравнение подгрупп испытуемых с разным уровнем выраженности показателей шкал психодиагностических методик, в совокупности с результатами статистического показателя ϕ^* Фишера, позволяет сделать следующие выводы:

- Пациенты, перенёвшие коронавирусную инфекцию, достоверно чаще имеют клинически выраженный уровень тревоги по сравнению с пациентами контрольной группы, и одновременно с этим значительно реже имеют уровень тревоги в пределах нормы;

- По шкале «Настроение» коронавирусные пациенты заметно чаще имеют низкие результаты.

Подводя итог вышеуказанному, можно сделать следующие выводы относительно выявленных различий между группами:

- Более половины пациентов из обеих исследуемых групп имеют показатели тревоги и депрессии в пределах нормы, однако постковидные пациенты значительно чаще испытывают симптомы тревоги клинически выраженного уровня.
- Среди коронавирусных пациентов чаще встречаются те, кто имеют негативный фон настроения по сравнению с пациентами контрольной группы.

Анализируя корреляционные взаимосвязности в совокупной выборке испытуемых, можно заметить, что тяжесть симптомов тревоги наиболее тесно связана с выраженностью проявления депрессивных симптомов в целом для всех пациентов, принимавших участие в исследовании характерно. Депрессия имеет склонность к увеличению интенсивности симптомов у пожилых людей, а также она связана с большим количеством нарушений когнитивных функций. Данные взаимосвязи объясняются тем, что люди с тяжёлыми нарушениями когнитивных функций более подвержены негативному стрессу, либо это уже является результатом стресса, а при таких условиях ожидаемо снижение фона настроения, тоскливость и низкая физическая активность, особенно, если это связано с симптомами, которые проявляют себя неприятными или болевыми ощущениями в теле.

Таким образом, обобщая анализ эмпирических данных, можно отметить, что для проходящих медицинскую реабилитацию пациентов были выявлены достоверно значимые отличия в группе постковидных пациентов. Основные отличия касаются показателей тревожности и фона настроения. Также постковидных пациентов отличает ряд взаимосвязей между психологическими характеристиками, которые не свойственны пациентам, не переболевшим коронавирусной инфекцией.

Полученные результаты в целом согласуются с результатами исследований других авторов, занимавшихся проблематикой постковидного синдрома. Ветрова Т.В. и соавт. установили, что большая часть опрошенных жаловались на тревожность (78%) и утомляемость (72%), а затруднения в когнитивной сфере отмечаются у 64% от общего числа участвовавших в исследовании. Более половины ответивших отмечали снижение настроения, повышенную слезливость, раздражительность, утрату смысла жизни, трудности в коммуникации [4]. Холмогорова А.Б. и соавт. указывают, что

процент пациентов, имеющих низкие показатели выраженности уровня депрессии составляет 11%, тревога в умеренных значениях отмечалась у 24%, а в выраженной степени отмечалась у 43% испытуемых. При этом различий проявления данных состояний в зависимости от демографических характеристик выявлено не было, хотя авторы отмечают, что подобные результаты могут быть связаны с недостаточной численностью выборки [12]. Орынбасарова А.Т. и Закирова М.М., исследуя пациентов, перенёвших коронавирусную инфекцию, на этапе выписки из больницы, отмечают, что улучшение состояния ощущают 50% пациентов, 27% предъявляют жалобы, схожие с симптомами депрессии, в виде подавленного эмоционального состояния и трудности в получении удовольствия от жизни, 12% пациентов предъявляли жалобы на слабость, бессонницу и тревожное состояние. Также в исследовании отмечались физиологические симптомы депрессии [10]. Таким образом, как показывает анализ источников, распространённость тревожных и депрессивных расстройств среди пациентов крайне широка. Они наблюдаются среди разных групп населения и во всех странах имеют практически схожие проявления.

Кросскультурные исследования показывают, что в период пандемии повысилась частота встречаемости тревожных и депрессивных расстройств, ассоциированных с пандемией COVID-19. В США около половины опрошенных людей в рамках исследования, проводимого Американской психиатрической ассоциации, имели клинически выраженные симптомы тревоги [22]. Проведённые в Италии во время первоначального внедрения карантинных мер исследования выявили высокий уровень тревожных расстройств, который отмечался у 20,8% населения, и депрессии (17,3%) [18]. Исследования, проведённые в Китае, указывают на распространённость тревоги, имеющей клинически значимые формы, у 30% населения. Также отмечается клинически значимый уровень депрессии у 17% китайских жителей [19]. В России также проводились подобные исследования, в одном из которых были получены схожие результаты. Так, распространённость среди населения пограничных симптомов тревоги отмечается у 27% опрошенных, а депрессия пограничного, либо повышенного уровня наблюдалась у 18% респондентов [15]. Исследование динамики психологических реакций на пандемию COVID-19, в котором приняло участие 430 человек преимущественно из г. Москва, было выявлено, что в период с 24 марта по 4 апреля 2020 года наблюдалось увеличение числа людей, имеющих негативные переживания, страх, тревогу [6]. Кросскультурное сравнение психологической реакции жителей Китая и России в первые дни карантина

указывает на их схожесть. В обоих случаях наблюдался рост реакций страха и тревоги, люди испытывали раздражительность от долгого пребывания в ситуации домашней изоляции. Также часто проявлялись жалобы на рост раздражительности и общий эмоциональный дискомфорт [2].

Существует мнение, что когнитивные изменения в отличие от тревожных и депрессивных расстройств имеют более тесную связь с COVID-19 именно как остаточный и продолжительный синдром. Как отмечают Остроумова Т.М. и соавт., когнитивные нарушения, сопутствующие вызванному коронавирусной инфекцией заболеванию, сохраняются длительное время после начала заболевания и не имеют выраженной статистической взаимосвязи с тревожными и депрессивными состояниями при коронавирусной инфекции [11].

В исследовании Головачевой В.А. и соавт., посвящённом изучению когнитивных нарушений при постковидном синдроме были рассмотрены описания клинических случаев пациентов, перенёсших коронавирусную инфекцию в тяжёлой форме, в том числе подвергавшихся реанимации. Авторы отмечают, что при крайне тяжёлых формах течения коронавирусной инфекции чаще проявляются более тяжёлые когнитивные нарушения, чем в большинстве случаев. В частности наблюдаются нарушения функций лобных долей и нарушение управляющих функций, что также сопровождается нарушениями концентрации внимания и зрительно-конструктивных умений, что свойственно для значительно более широкого круга пациентов, перенёсших коронавирусную инфекцию [5].

Завершая обсуждение результатов, следует отметить, что когнитивные нарушения являются довольно распространёнными симптомами пролонгированного течения коронавирусной инфекции. Когнитивные нарушения при коронавирусной инфекции чаще приводят к нарушению нормального функционирования и снижению качества жизни пациентов.

Заключение

Проблема психических нарушений как одной из характеристик постковидного синдрома представляет особый интерес в первую очередь для работников системы здравоохранения и психологов, работающих с пациентами, перенёсшими COVID-19. Главным образом актуальность и практическая значимость данной проблемы связаны со способностью коронавирусной инфекции оказывать влияние на психическое здоровье людей, социальное и психологическое благополучие, а также на качество их жизни. В свете этих обстоятельств важно изучение психологических осо-

бенностей постковидных больных для лучшего понимания негативного воздействия постковидного синдрома на организм человека, чтобы иметь возможность своевременно и качественно оказать нуждающимся пациентам психологическую помощь.

Были выявлены статистически значимые различия между группами пациентов по изучаемым показателям, а также общие и специфические для выделенных групп статистически значимые корреляционные взаимосвязи.

Наиболее существенными отличиями постковидных пациентов от пациентов с другими заболеваниями в период прохождения медицинской реабилитации являлись следующие:

1. Они значительно чаще испытывают клинически выраженную тревогу.
2. Среди коронавирусных пациентов значительно чаще встречаются те, кто имеют негативный фон настроения в сравнении с другими пациентами.

Таким образом, выдвинутая гипотеза исследования была подтверждена лишь частично. Так, в сравнительном анализе рассматриваемых групп отмечалось понижение по частным и общим показателям когнитивной сферы, а также определённые различия между ними, но при этом выявленные различия не являлись статистически значимым. Аналогичная картина наблюдалась в сравнительном анализе групп по показателям депрессии: несмотря на различия в соотношении показателей различного уровня, статистически значимые различия между группами были выявлены лишь по показателю тревожности, а для показателей депрессии подобные различия выявить не удалось.

Полученные результаты могут оказаться полезными для специалистов в области здравоохранения, работающих с постковидными пациентами, а также могут найти своё применение в работе психолога, сопровождающего постковидных клиентов и занимающимся проблемами социальной и психологической реабилитации постковидных пациентов с учётом специфики выявленных психологических характеристик.

Список литературы

1. Абдурахимов А.Х., Хегай Л.Н., Юсупова Ш.К. COVID-19 и его осложнения // Re-health journal. 2021. № 4 (12). С. 61-74.
2. Анализ психического состояния населения Китая и России в период пандемии COVID-19 / Фан Ц., Ли В., У Ц., Цю. Ц., Огнев А.С. // Коллекция гуманитарных исследований. 2020. № 4 (25). С. 6-13. [https://doi.org/10.21626/j-chr/2020-4\(25\)/1](https://doi.org/10.21626/j-chr/2020-4(25)/1)

3. Белопасов В.В., Журавлева Е.Н., Нугманова Н.П., Абдрашитова А.Т. Постковидные неврологические синдромы // Клиническая практика. 2021. Т. 12. № 2. С. 69-82. <https://doi.org/10.17816/clinpract71137>
4. Ветрова Т.В., Подольская В.-А.В. Особенности психологического состояния лиц, перенесших заболевание, вызванное действием коронавирусной инфекции нового типа (COVID-19) и пути коррекции выявленных негативных изменений // Сборник избранных статей по материалам научных конференций ГНИИ «Нацразвитие»: Материалы Всероссийских (национальных) научных конференций, Санкт-Петербург, 11–13 октября 2021 года. Санкт-Петербург, 2021. С. 71-78. <https://doi.org/10.37539/ОСТ321.2021.21.35.004>
5. Головачева В.А., Табеева Г.Р., Кузнецов И.В. Когнитивные нарушения при COVID-19: взаимосвязь, патогенез и вопросы терапии // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. 2021. Т. 13. № 2. С. 123-129. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2021-2-123-129>
6. Динамика психологических реакций на начальном этапе пандемии COVID-19 / Ениколопов С.Н., Бойко О.М., Медведева Т.И., Воронцова О.Ю., Казьмина О.Ю. // Психолого-педагогические исследования. 2020. Т. 12. № 2. С. 108-126. <https://doi.org/10.17759/psyedu.2020120207>
7. Дудиков Е.М., Келин Д.Ю., Репьев В.Н., Шабанова Э.С. Сравнение когнитивного статуса у пациентов с новой коронавирусной инфекцией COVID-19 с наличием и отсутствием в анамнезе острого нарушения мозгового кровообращения // Forcipe. 2021. Т. 4. № S1. С. 560.
8. 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. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-2-77-99>
9. Медведев В.Э., Доготарь О.А. COVID-19 и психическое здоровье: вызовы и первые выводы // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. 2020. Т. 12. № 6. С. 4-10. <https://doi.org/10.17759/psyedu.2020120207>
10. Орынбасарова А.Т., Закирова М.М. Оценка психологического состояния больных, переболевших COVID-19, подтверждённых положительным ПЦР // Научный взгляд в будущее. 2021. Т. 1. № 22. С. 82-91. <https://doi.org/10.30888/2415-7538.2021-22-01-001>
11. Остроумова Т.М., Черноусов П.А., Кузнецов И.В. Когнитивные нарушения у пациентов, перенесших COVID-19 // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. 2021. Т. 13. № 1. С. 126-130. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2021-1-126-130>

12. Посттравматический стресс у пациентов с COVID-19 после лечения в стационаре / Холмогорова А.Б., Рахманина А.А., Пуговкина О.Д., Рой А.П., Истомина М.А., Авакян Т.В., Карчевская Н.А., Петриков С.С. // Современная терапия психических расстройств. 2021. № 3. С. 58-67. <https://doi.org/10.21265/PSYRN.2021.90.34.006>
13. Симаева И.Н., Бударина А.О. Самоохранительный аттитюд подростков и молодежи в период пандемии // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13. N 4. С. 75-98. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-4-75-98>.
14. Цветкова Н.А., Кисляков П.А., Володарская Е.А. Особенности смысловой сферы личности и суточного структурирования занятости студентов, переболевших COVID-2019 // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021. Т. 13. N 5. С. 285-306. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-5-285-306>
15. Шевченко Ю.Л., Ионова Т.И., Мельниченко В.Я., Никитина Т.П. Качество жизни населения Российской Федерации в условиях пандемии COVID-19 // Вестник Национального медико-хирургического центра имени Н.И. Пирогова. 2021. Т. 16. № 1. С. 74-83. <https://doi.org/10.25881/VPNMSC.2021.97.90.013>
16. Штыгашева О.В., Агеева Е.С., Пронькина К.В., Пузакова З.Ю. Эпидемиологические тренды и структура пациентов с COVID-19 в Республике Хакасия в 2020 году // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13. N 4. С. 59-74. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-4-59-74>
17. Attitude to COVID-19 vaccination and disorders of healthy behavior of russian university students during the third pandemic wave / Zakharova A.N, Nikolaev E.L., Lazareva E.Yu., Trukova A.I, Hartfelder D.V., Petunova S.A. // Proceedings of INTCESS 2022- 9th International Conference on Education and Education of Social Sciences (17-18 January 2022). 2022, pp. 551-557. <https://doi.org/10.51508/intcess.202277>
18. COVID-19 pandemic and lockdown measures impact on mental health among the general population in Italy. / Rossi R., Soggi V., Talevi D., Mensi S., Ntoli C., Pacitti F., Di Marco A., Rossi A., Siracusano A., Di Lorenzo G. // Frontiers in Psychiatry. 2020. Vol. 11. P. 790. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2020.00790>
19. Dong L., Bouey J. Public mental health crisis during COVID-19 pandemic, China. // Emerging infectious diseases. 2020, Vol. 26, N. 7, P. 1616. <https://doi.org/10.3201/eid2607.200407>
20. Evaluating and Caring for Patients with Post-COVID Conditions: Interim Guidance / Centers for Disease Control and Prevention. URL: <https://www.cdc.gov/>

- coronavirus/2019-ncov/hcp/clinical-care/post-covid-assessment-testing.html (дата обращения 29.06.2022).
21. Razina T.V., Kandybovich S.L., Zakharova A.N. Reflection of the problem of COVID-19 pandemic in quantitative and content characteristics of internet memes in social networks. // Proceedings of the 36th International Business Information Management Association Conference (IBIMA), 2020, pp. 7040-7046.
 22. Schwartz B.J. New APA survey on public anxiety over COVID-19 / Anderson P. High Anxiety in America Over COVID-19. Medscape, Mar 28 2020. URL: <https://www.medscape.com/viewarticle/927711> (дата обращения 28.06.2022).
 23. Smirnov V.V., Zakharova A.N., Dulina G.S., Gubanova N.G., Talanova T.V., Klykova J.Y., Yaklashkin M.N. Development of Russian Youth Entrepreneurship amid COVID-19 Pandemic. // Proceedings of the 38th International Business Information Management Association Conference (IBIMA Innovation Management and Sustainable Economic Development in the Era of Global Pandemic) 23-24 November 2021, Seville, Spain. 2022, pp. 4057-4066.
 24. Study of University Students' Quality of Life and Their Attitude to Health during the Third Pandemic Wave: A Quantitative Research / Nikolaev E.L., Zakharova A.N., Lazareva E.Yu., Hartfelder D.V., Talanova T.V., Dulina G.S. // Proceedings of the 39th International Business Information Management Association Conference (30-31 may 2022, Granada, Spain), 2022.

References

1. Abdurakhimov A.Kh., Khegay L.N., Yusupova Sh.K. COVID-19 i ego oslozheniya [COVID-19 and its complications]. *Re-health journal*, 2021, no. 4 (12), pp. 61-74.
2. Fan X., Li V., Wu X., Xu X., Ognev A.S. Analiz psikhicheskogo sostoyaniya naseleniya Kitaya i Rossii v period pandemii COVID-19 [Chinese and Russian population mental state during COVID-19 pandemic]. *Kollektsiya gumanitarnykh issledovaniy*, 2020, no. 4 (25), pp. 6-13. [https://doi.org/10.21626/jchr/2020-4\(25\)/1](https://doi.org/10.21626/jchr/2020-4(25)/1)
3. Belopasov V.V., Zhuravleva E.N., Nugmanova N.P., Abdrashitova A.T. Postkovidnye nevrologicheskie sindromy [Neurological post-COVID syndromes]. *Klinicheskaya praktika*, 2021, vol. 12, no. 2, pp. 69-82. <https://doi.org/10.17816/clinpract71137>
4. Vetrova T.V., Podol'skaya V.-A.V. Osobennosti psikhologicheskogo sostoyaniya lits, perenesshikh zabolevanie, vyzvannoe deystviem koronavirusnoy infektsii novogo tipa (COVID-19) i puti korrektsii vyyavlennykh negativnykh izmeneniy [Psychological state of people with new type of coronavirus infection]

- tion (COVID-19) and approaches to correction of its negative consequences]. Sbornik izbrannykh statey po materialam nauchnykh konferentsiy GNII "Natsrazvitiye": Materialy Vserossiyskikh (natsional'nykh) nauchnykh konferentsiy, Saint-Petersburg, 11–13 Oct 2021, pp. 71-78. <https://doi.org/10.37539/OCT321.2021.21.35.004>
5. Golovacheva V.A., Tabeeva G.R., Kuznetsov I.V. Kognitivnye narusheniya pri COVID-19: vzaimosvyaz', patogenez i voprosy terapii [COVID-19 and cognitive disorders: relationship, pathogenesis and therapy]. *Nevrologiya, neyropsikhiatriya, psikhosomatika*, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 123-129. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2021-2-123-129>
 6. Enikolopov S.N., Boyko O.M., Medvedeva T.I., Vorontsova O.Yu., Kaz'mina O.Yu. Dinamika psikhologicheskikh reaktsiy na nachal'nom etape pandemii COVID-19 [Dynamics of psychological reactions at the initial stage of the COVID-19 pandemic]. *Psikhologo-pedagogicheskie issledovaniya*, 2020, vol. 12, no. 2, pp. 108-126. <https://doi.org/10.17759/psyedu.2020120207>
 7. Dudikov E.M., Kelin D.Yu., Rep'ev V.N., Shabanova E.S. Sravnenie kognitivnogo statusa u patsientov s novoy koronavirusnoy infektsiyey COVID 19 s nalichiem i otsutstviem v anamneze ostrogo narusheniya mozgovogo krovoobrashcheniya [Cognitive status of COVID-19 patients with and without acute cerebrovascular accident anamnesis: comparative study]. *Forcipe*, 2021, vol. 4, no. S1, p. 560.
 8. Kislyakov P.A., Belov M.S., Konstantinova N.P. Psikhologicheskoe zdorov'e sportsmenov v period pandemii COVID-2019 [Psychological health of athletes during the COVID-19 pandemic]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 77-99. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-2-77-99>
 9. Medvedev V.E., Dogotar' O.A. COVID-19 i psikhicheskoe zdorov'e: vyzovy i pervye vyvody [COVID-19 and mental health: challenges and preliminary conclusions]. *Nevrologiya, neyropsikhiatriya, psikhosomatika*, 2020, vol. 12, no. 6, pp. 4-10. <https://doi.org/10.17759/psyedu.2020120207>
 10. Orynbasarova A.T., Zakirova M.M. Otsenka psikhologicheskogo sostoyaniya bol'nykh, perebolevshikh COVID-19, podtverzhdennykh polozhitel'nykh PTsR [Psychological state assessment of confirmed COVID-19 patients with positive PCR in recovering state]. *Nauchnyy vzglyad v budushchee*, 2021, vol. 1, no. 22, pp. 82-91. <https://doi.org/10.30888/2415-7538.2021-22-01-001>
 11. Ostroumova T.M., Chernousov P.A., Kuznetsov I.V. Kognitivnye narusheniya u patsientov, perenesshikh COVID-19 [Cognitive impairment in patients with COVID-19]. *Nevrologiya, neyropsikhiatriya, psikhosomatika*, 2021, vol. 13, no. 1, pp. 126-130. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2021-1-126-130>

12. Kholmogorova A.B., Rakhmanina A.A., Pugovkina O.D., Roy A.P., Istomin M.A., Avakyan T.V., Karchevskaya N.A., Petrikov S.S. Posttraumatic stress u patsientov s COVID-19 posle lecheniya v stacionare [Post-traumatic stress in patients with COVID-19 after hospital treatment]. *Sovremennaya terapiya psikhicheskikh rasstroystv*, 2021, no. 3, pp. 58-67. <https://doi.org/10.21265/PSYPH.2021.90.34.006>
13. Simaeva I.N., Budarina A.O. Samosokhranitel'nyy attityud podrostkov i molodezhi v period pandemii [Self-Preservation Attitudes of Youth and Adolescents during the COVID-19 Pandemic]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 4, pp. 75-98. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-4-75-98>
14. Tsvetkova N.A., Kislyakov P.A., Volodarskaya E.A. Osobennosti smyslovoy sfery lichnosti i sutochnogo strukturirovaniya zanyatosti studentov, perebolevshikh COVID-2019 [Semantic sphere of personality and daily structuring of students recovered from COVID-19]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 5, pp. 285-306. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-5-285-306>
15. Shevchenko Yu.L., Ionova T.I., Mel'nichenko V.Ya., Nikitina T.P. Kachestvo zhizni naseleniya Rossiyskoy Federatsii v usloviyakh pandemii COVID-19 [Russian Federation population quality of life during COVID-19 pandemic]. *Vestnik Natsional'nogo mediko-khirurgicheskogo tsentra imeni N.I. Pirogova*, 2021, vol. 16, no. 1, pp. 74-83. <https://doi.org/10.25881/BPNMSC.2021.97.90.013>
16. Shtygasheva O.V., Ageeva E.S., Pron'kina K.V., Puzakova Z.Yu. Epidemiologicheskie trendy i struktura patsientov s COVID-19 v Respublike Khakasiya v 2020 godu [Epidemiological trends and structure of patients with COVID-19 in Republic of Khakassia in 2020]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 4, pp. 59-74. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-4-59-74>
17. Zakharova A.N., Nikolaev E.L., Lazareva E.Yu., Trukova A.I., Hartfelder D.V., Petunova S.A. Attitude to COVID-19 vaccination and disorders of healthy behavior of russian university students during the third pandemic wave. *Proceedings of INTCESS 2022- 9th International Conference on Education and Education of Social Sciences* (17-18 January 2022). 2022, pp. 551-557. <https://doi.org/10.51508/intcess.202277>
18. Rossi R., Soggi V., Talevi D., Mensi S., Niolu C., Pacitti F., Di Marco A., Rossi A., Siracusano A., Di Lorenzo G. COVID-19 pandemic and lockdown measures impact on mental health among the general population in Italy. *Frontiers in Psychiatry*, 2020, vol. 11, p. 790. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2020.00790>

19. Dong L., Bouey J. Public mental health crisis during COVID-19 pandemic, China. *Emerging infectious diseases*, 2020, vol. 26, no. 7, p. 1616. <https://doi.org/10.3201/eid2607.200407>
20. Evaluating and Caring for Patients with Post-COVID Conditions: Interim Guidance / *Centers for Disease Control and Prevention*. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/clinical-care/post-covid-assessment-testing.html> (accessed June 29 2022).
21. Razina T.V., Kandybovich S.L., Zakharova A.N. Reflection of the problem of COVID-19 pandemic in quantitative and content characteristics of internet memes in social networks. *Proceedings of the 36th International Business Information Management Association Conference (IBIMA)*, 2020, pp. 7040-7046.
22. Schwartz B.J. New APA survey on public anxiety over COVID-19 / Anderson P. High anxiety in America over COVID-19. *Medscape*, Mar 28 2020. <https://www.medscape.com/viewarticle/927711> (accessed June 28 2022).
23. Smirnov V.V., Zakharova A.N., Dulina G.S., Gubanova N.G., Talanova T.V., Klykova J.Y., Yaklashkin M.N. Development of Russian Youth Entrepreneurship amid COVID-19 Pandemic. *Proceedings of the 38th International Business Information Management Association Conference (IBIMA Innovation Management and Sustainable Economic Development in the Era of Global Pandemic)* 23-24 November 2021, Seville, Spain, 2022, pp. 4057-4066.
24. Nikolaev E.L., Zakharova A.N., Lazareva E. Yu., Hartfelder D.V., Talanova T.V., Dulina G.S. Study of University Students' Quality of Life and Their Attitude to Health during the Third Pandemic Wave: A Quantitative Research. *Proceedings of the 39th International Business Information Management Association Conference* (30-31 may 2022, Granada, Spain), 2022.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Борисов Олег Владимирович, психолог

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»

пр-т Московский, 15, г. Чебоксары, Чувашская Республика, 428015, Российская Федерация

yoklmm98@mail.ru

Гартфельдер Денис Викторович, кандидат психологических наук, доцент кафедры социальной и клинической психологии

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»

*пр-т Московский, 15, г. Чебоксары, Чувашская Республика, 428015,
Российская Федерация
hdv@gmx.us*

Захарова Анна Николаевна, кандидат психологических наук, доцент, доцент кафедры социальной и клинической психологии
*ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»
пр-т Московский, 15, г. Чебоксары, Чувашская Республика, 428015,
Российская Федерация
zaharova_an@mail.ru*

Комарова Евгения Сергеевна, психолог отделения медицинской реабилитации
*БУ «Первая Чебоксарская ГБ им. П. Н. Осипова» Минздрава Чувашии
ул. К. Иванова, 14, г. Чебоксары, Чувашская Республика, 428018,
Российская Федерация
zeka-idial@mail.ru*

Дулина Галина Сергеевна, кандидат психологических наук, доцент, доцент кафедры социальной и клинической психологии
*ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»
пр-т Московский, 15, г. Чебоксары, Чувашская Республика, 428015,
Российская Федерация
dulina.g@yandex.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Oleg V. Borisov, psychologist
*Chuvash State University
15, Moskovsky Ave., Cheboksary, Chuvash Republic, 428015, Russian
Federation
yoklmn98@mail.ru*

Denis V. Hartfelder, PhD in Psychology, Associate Professor of Social and Clinical Psychology Department
*Chuvash State University
15, Moskovsky Ave., Cheboksary, Chuvash Republic, 428015, Russian
Federation
hdv@gmx.us*

Anna N. Zakharova, PhD in Psychology, Associate Professor of Social and Clinical Psychology Department
Chuvash State University
15, Moskovsky Ave., Cheboksary, Chuvash Republic, 428015, Russian Federation
zaharova_an@mail.ru

Evgenia S. Komarova, psychologist, Medical Rehabilitation Department
Osipov 1st Cheboksary City Hospital
14, K.Ivanova Str., Cheboksary, 428018, Chuvash Republic, Russian Federation
zeka-idial@mail.ru

Galina S. Dulina, PhD in Psychology, Associate Professor of Social and Clinical Psychology Department
Chuvash State University
15, Moskovsky Ave., Cheboksary, Chuvash Republic, 428015, Russian Federation
dulina.g@yandex.ru

Поступила 05.07.2022

После рецензирования 01.08.2022

Принята 13.08.2022

Received 05.07.2022

Revised 01.08.2022

Accepted 13.08.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-253-293
УДК 614.2



Научная статья | Здоровоохранение

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ НАЦИОНАЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ В СФЕРЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

*И.Ю. Ваславская, А.Л. Полтарыхин,
А.А. Колупаев, В.Г. Воробьева*

Цель работы. Настоящая статья посвящена анализу механизма реализации национального проекта «Здоровоохранение», а также оценке эффективности его реализации.

Материалы и методы. В настоящее время отсутствует система своевременной и общедоступной оценки эффективности реализации национально-го проекта «Здоровоохранение» как на национальном, так и на региональном уровне. В связи с этим предлагается оценивать эффективность националь-ного проекта по методике, основанной на интегральном показателе эффек-тивности, разработанной экспертами Высшей школы управления здравооохранением для оценки здравооохранения региона.

Результаты. Дано понятие и роль национальных проектов в экономике региона как части стратегического планирования. Раскрыта система управ-ления и механизм реализации национального проекта в здравооохранении на региональном уровне. Исследованы методики оценки эффективности реал-изации национальных проектов. Охарактеризовано современное состояние реализации национального проекта «Здоровоохранение» в Алтайском крае. Проанализирован механизм реализации национального проекта «Здоровооохранение».

Заключение. Оценка эффективности реализации национального проекта показала недостаточный уровень реализации программы на территории Алтайского края в течение 2019-2020 гг., чему способствовала пандемия COVID-19, которая значительно ухудшила показатели смертности среди взрослого населения.

Ключевые слова: система управления; механизм реализации; националь-ный проект; здравооохранение; эффективность; методика оценки

Для цитирования. Ваславская И.Ю., Полтарыхин А.Л., Колупаев А.А., Воробьева В.Г. Повышение эффективности реализации национальных проектов в сфере здравоохранения // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №1. С. 253-293. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-253-293

Original article | Health Care

INCREASING THE EFFICIENCY OF THE IMPLEMENTATION OF NATIONAL PROJECTS IN THE FIELD OF HEALTHCARE

*I.Yu. Vaslavskaya, A.L. Poltarykhin,
A.A. Kolupaev, V.G. Vorobieva*

Objective. This article is devoted to the analysis of the mechanism for the implementation of the national project «Health», as well as the assessment of the effectiveness of its implementation.

Materials and methods. Currently, there is no system for timely and publicly available assessment of the effectiveness of the implementation of the national project «Healthcare» both at the national and regional levels. In this regard, it is proposed to evaluate the effectiveness of the national project according to the methodology based on the integral indicator of effectiveness, developed by the experts of the Higher School of Health Management for assessing the health of the region.

Results. The concept and role of national projects in the regional economy as part of strategic planning is given. The management system and the mechanism for the implementation of the national project in health care at the regional level are disclosed. Techniques for evaluating the effectiveness of the implementation of national projects have been studied. The current state of the implementation of the national project «Healthcare» in the Altai Territory is characterized. The mechanism for the implementation of the national project «Healthcare» is analyzed.

Conclusion. An assessment of the effectiveness of the implementation of the national project showed an insufficient level of implementation of the program in the Altai Territory during 2019-2020, which was facilitated by the COVID-19 pandemic, which significantly worsened the mortality rate among the adult population.

Keywords: management system; implementation mechanism; national project; healthcare; efficiency; assessment methodology

For citation. Vaslavskaya I.Yu., Poltarykhin A.L., Kolupaev A.A., Vorobieva V.G. Increasing the Efficiency of the Implementation of National Projects in the Field of

Healthcare. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 253-293. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-253-293

Введение

Актуальность исследования эффективности реализации национальных проектов в системе здравоохранения обусловлена тем, что общественное здоровье является стратегическим ресурсом, от его состояния напрямую зависит обеспечение национальной безопасности и социально-экономического развития. Качество здоровья трудоспособного населения оказывает прямое влияние на эффективность экономического развития, определяя качество трудовых ресурсов. Качество здоровья детей и подростков определяет перспективы развития в долгосрочной перспективе. Состояние здоровья пожилого населения напрямую воздействует на состояние социальной сферы [21]. На здоровье населения влияет комплекс факторов (система социальной защиты, уровень образования, уровень продовольственной безопасности [23, 28, 30, 33] и т. д.), но особенно состояние окружающей среды [32, 34, 29], включая водные [27], лесные и пр. ресурсы [31].

На современном этапе социально-экономического развития здоровье населения является ключевым приоритетом государственной социальной политики. Здоровье населения выступает стратегическим ресурсом как на макроэкономическом (национальном), так и мезоэкономическом (региональном) и микроэкономическом уровнях.

Цель настоящего исследования – разработка рекомендаций по совершенствованию оценки результатов реализации национальных проектов в сфере здравоохранения.

Объект исследования – реализация национального проекта «Здравоохранение» в Алтайском крае. Предмет исследования – экономические отношения, возникающие при оценке эффективности реализации национального проекта «Здравоохранение» на региональном уровне.

Методология

При выполнении данного исследования нами использовались метод литературного обзора (для описания сущности и моделей функционирования системы здравоохранения), а также статистические методы (при помощи которых была собрана, обобщена и проанализирована информация о текущем состоянии реализации национального проекта «Здравоохранение») в Алтайском крае. Кроме того, мы использовали рейтинговые методы для построения интегральной оценки состояния системы здравоохранения в Алтайском крае.

Информационной базой для исследования послужили статистические данные Росстата. Для представления результатов исследования нами использовали табличные и графические методы.

Механизм реализации национальных проектов в сфере здравоохранения в Российской Федерации

Национальные проекты, которые разрабатываются в соответствии с Указом Президента РФ, играют важную роль в системе стратегического планирования государства. В настоящее время в действующем законодательстве о стратегическом планировании нет четкого указания на национальные проекты в качестве документа, которому присуще стратегическое планирование. Однако можно утверждать, что национальные проекты в системе стратегического планирования, несомненно, займут одно из ключевых приоритетов хозяйственного и социального развития государства в перспективе, однако важно создать механизм контроля ключевых показателей проектов [24].

Кроме того, существует и приобретает все большую актуальность проблема, связанная с согласованием национальных проектов и действующей системы государственных (целевых) программ. Указанная проблема нарастает не только на федеральном, но и региональном уровнях одновременно. Национальные проекты и их реализация должны учитывать еще и стратегии действующих и разрабатываемых проектов на региональном уровне, так как социально-экономическое развитие каждого региона неодинаково и может значительно отличаться друг от друга.

Таким образом, можно сделать вывод, что существует необходимость использования национальных проектов с целью приобретения практического опыта для проектного управления и бюджетирования. Также это позволит закрепить функции национальных проектов и их региональную проекцию в законе о стратегическом планировании.

Система здравоохранения представляет собой сложный многоэлементный социальный объект, обладающий определенным набором признаков и свойств, к числу которых можно отнести такие как наличие цели, слаженную иерархическую структуру, обеспечивающую эффективность как внешнего, так и внутреннего управления [12].

Рассмотрение здравоохранения как системы позволяет проанализировать ее не только как целостный субъект, но и в разрезе ее системных элементов.

Под системой здравоохранения понимается совокупность взаимосвязанных мероприятий, направленных на укрепление здоровья и создание

соответствующих условий для возможности реализации этих действий во всех общественных сферах [1].

В качестве базовой цели системы здравоохранения можно выделить непрерывный, постоянный процесс улучшения здоровья населения [5].

Одним из аспектов современного развития здравоохранения является активная модернизация, а также цифровизация [25]. На данном этапе мы наблюдаем развитие оказания высокотехнологичной помощи, телемедицина, большую роль в диагностике нетипичных случаев и проведении сложных операций играет возможность интерактивных консультаций, проведение консилиумов ведущих специалистов, причем так же с привлечением иностранных хирургов и т.д. [17]. Достижение современного уровня развития было бы невозможным без эффективного управления и государственной поддержки.

Основой управляющего воздействия выступает государственное управление, которое включает в себя следующие элементы:

- формирование нормативно-правовой основы функционирования системы здравоохранения;
- разработка и реализация медицинской профилактики;
- формирование мотивации здорового образа жизни населения.

Институциональную основу государственного управления в сфере здравоохранения составляют органы исполнительной власти в данной сфере, территориальные органы, исполнительные органы государственной власти субъектов Российской Федерации в сфере охраны здоровья, органы управления в сфере охраны здоровья иных федеральных органов исполнительной власти, подведомственные федеральным органам исполнительной власти, Российской академии наук и исполнительным органам государственной власти субъектов Российской Федерации, медицинские организации и фармацевтические организации, организации здравоохранения по обеспечению надзора в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, судебно-экспертные учреждения, иные организации и их обособленные подразделения, осуществляющие деятельность в сфере охраны здоровья.

Структура управления системой здравоохранения в настоящее время включает в себя уровни:

- федеральный;
- региональный.

Основным институтом, реализующим управляющее воздействие является Министерство здравоохранения Российской Федерации. К числу

полномочий Министерства относится разработка и реализация государственной политики Российской Федерации, разработка и реализация программ и государственных проектов в области здравоохранения.

Региональный уровень системы управления представлен министерствами здравоохранения субъектов Российской Федерации. К их полномочиям относят вопросы охраны граждан на уровне региона и другие, вытекающие из этого задачи.

Муниципальный уровень в системе управления исключен. С 2010 г. муниципальный уровень исключен из полномочий по управлению системой здравоохранения, ранее эти функции выполняли муниципальные отделы (управления) здравоохранения.

Региональные проекты, сформированные в субъектах Российской Федерации, должны быть направлены на реализацию национальных и федеральных проектов и достижение соответствующих целей и показателей [3]. Схема, характеризующая иерархию проектов, приведена на рисунке 1.

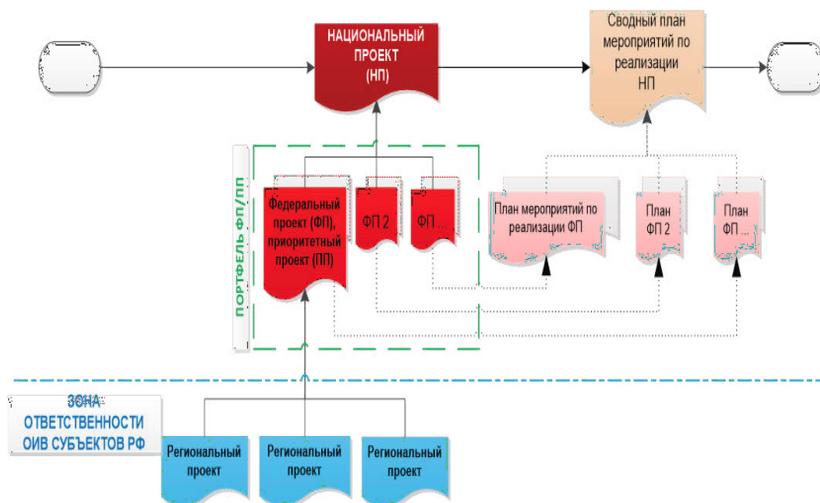


Рис. 1. Иерархия проектов, подлежащих разработке в целях реализации национальных проектов (программ)

Общий алгоритм построения проектов (с отражением основных параметров по направлению «Цифровая экономика») приведен на рисунке 2.

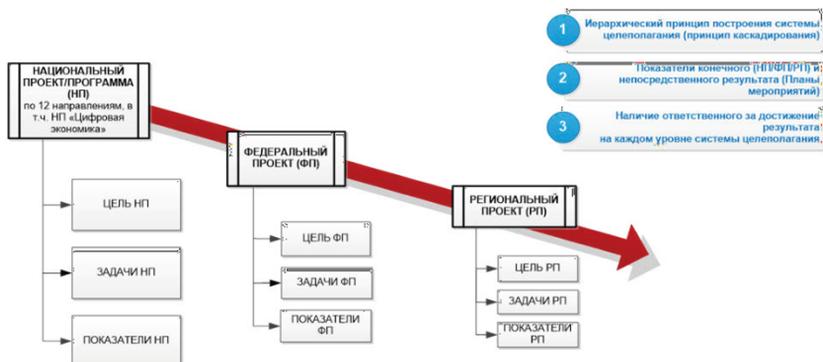


Рис. 2. Общий алгоритм построения проектов (с отражением основных параметров по направлению «Здравоохранение»)

Основными источниками финансирования реализации национальных проектов являются:

- федеральный бюджет;
- бюджеты субъектов РФ;
- внебюджетные источники;
- государственные внебюджетные фонды.

Все проекты взаимосвязаны с государственными федеральными целевыми и региональными целевыми программами.

Механизм финансового обеспечения реализации национальных проектов представлен на рисунке 3.



Рис. 3. Схема механизмов финансового обеспечения реализации национальных проектов в РФ

Согласно данным рисунка 3, из федерального, региональных и местных бюджетов выделяются средства на финансирование национальных проектов в виде субсидий, которые в последующем направляются на организацию реализации национальных проектов. В результате в бюджетах возникает расходное обязательство, которое подкрепляется отчетом о расходовании полученных средств, что можно увидеть по данным исполнения бюджета на конкретный календарный год.

Таким образом, можно отметить, что механизм реализации региональных проектов создан как проекция национального проекта, все направления проекта связаны с государственными и региональными целевыми программами. Финансирование проектов многоканальное. Так как проекты реализуются в сфере здравоохранения, большую роль в их финансировании играют средства внебюджетных фондов.

Методы оценки проектов в сфере здравоохранения

На современном этапе одним из важнейших недостатков экспертизы проектов в сфере государственного и муниципального управления выступает ее субъективный характер. Одним из направлений решения этой проблемы выступает проведение в рамках экспертизы количественной оценки в форме стоимостного выражения социального и других эффектов [8].

Можно использовать рейтинговый метод оценки, предложенный исследователями Высшей школы организации и управления здравоохранением (ВШОУЗ).

Экспертами ВШОУЗ был разработан рейтинговый метод оценки эффективности региональных систем здравоохранения России. Эффективность означает возможность добиться лучших результатов за меньшие средства [20]. Проведенный анализ за 2017-2019 гг. позволил выявить приведенные ниже ключевые факторы, определяющие состояние здоровья граждан:

- социально-экономические;
- образ жизни населения (употребление алкоголя);
- деятельность учреждений здравоохранения (величина подушевых государственных расходов).

Количественное влияние факторов распределилось следующим образом: финансирование государственной сферы здравоохранения определяют состояние здоровья граждан на 30%, уровень валового регионального продукта – на 37%, образ жизни – на 33%. Указанные факторы позволили определить 4 показателя, которые с одной стороны отражают влияние этих

факторов, с другой стороны позволяют в сумме определить итоговую эффективность отрасли здравоохранения.

Рейтинг составлялся по методике, в которой в качестве эффективности обозначена возможность достижения «того же результата за меньшие деньги или лучших результатов за те же деньги». Использовался опыт и международная практика проведения подобных расчетов с расчетами по четырем показателям, имеющих при подсчете баллов определенный удельный вес [2].

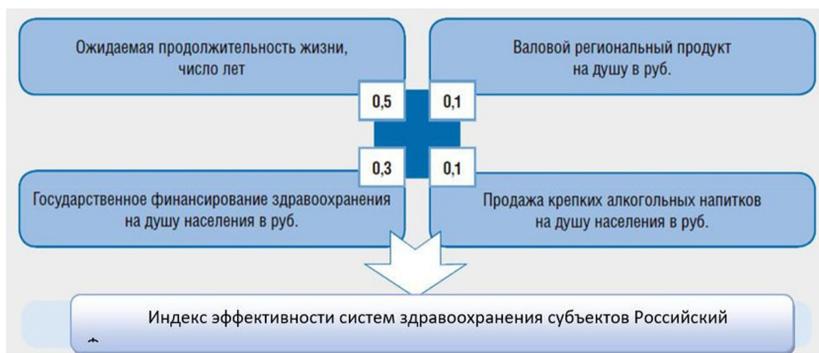


Рис. 4. Показатели эффективности региональной системы здравоохранения и их веса

Самым весомым показателем, определяющим уровень здравоохранения, является ожидаемая продолжительность жизни (лет). Этот показатель является результирующим. Вес этого показателя составляет 0,5 из 1,0, то есть половину. Чем выше значение показателя, тем больше баллов присваивается региону, максимальное значение баллов – 50.

Вторым показателем является государственные расходы на здравоохранение. В нашей стране это средства государственного бюджета и средства Федерального фонда обязательного медицинского страхования (ФФОМС) и Территориальных фондов обязательного медицинского страхования (ТФОМС). Этот показатель отражает затраты на здравоохранение, и чем он выше, тем меньше баллов получает регион. При прочих равных условиях, считается, что достигнув одинаковой продолжительности жизни, тот регион более эффективен, который тратит меньше средства на финансирование региональной системы здравоохранения.

Третьим по весу показателем является ВРП на душу населения (0,3 из 1,0). Этот показатель отражает компонент затрат. Чем он выше, тем мень-

ше балл. В основе такого подхода лежит мнение о том, что чем выше ВРП на душу населения, тем больше факторов прожить долгую жизнь, и вклад здравоохранения в этом случае на продолжительность жизни населения региона сокращается. А на продолжительность жизни при высоком ВРП влияют высокие доходы, возможность инвестировать в свое здоровье, возможность качественно питаться и отдыхать.

Четвертый показатель включен в перечень для нивелирования влияния этого фактора на ожидаемую продолжительность жизни. Ведь известно, чем ниже потребления алкоголя, тем выше продолжительность жизни, без влияния деятельности организаций здравоохранения. Напротив, сочетание большого объема потребления алкоголя и высокой продолжительности жизни свидетельствуют об эффективной системе здравоохранения.

Интегральный показатель, полученный путем суммирования баллов с учетом веса каждого показателя назван индекс эффективности.

Исследователи ВШОУЗ на протяжении ряда лет измеряли эффективность региональных системы здравоохранения, как в целом по России, так и по климатическим зонам. Анализ показал, что разброса индекса составляет от 10 до 80, что говорит о существенных региональных различиях в эффективности регионального здравоохранения по региону России [10].

Еще одним направлением оценки эффективности национальных проектов или государственных программ является оценка эффективности бюджетного финансирования. Любая программная деятельность требует оценки эффективности финансовых ресурсов, этого требуют условия дефицитности ресурсного обеспечения. Следует отметить, что согласно пункта 8 Постановления Правительства Российской Федерации от 02.03.2019 г. №234 при реализации национальных проектов требуется проведение оценки стоимости источников финансового обеспечения содержания объектов имущества создаваемых или приобретаемых в рамках национальных проектов [9]. Кроме этого, в общей части требований к оценке эффективности реализации национальных и федеральных проектов приняты указанные ниже положения [14].

Первое положение представляет собой обоснование эффективности национальных проектов является важным принципом их реализации. При оценке эффективности национальных проектов следует использовать информацию, содержащуюся в отчетах по реализации национальному проекту.

Второе положение включает в себя проведение оценки эффективности использования бюджетных средства национальных проектов, которое осуществляется по их завершению.

Третье положение основано на проведении оценке эффективности, предусматривает оценку эффективности и результативности руководителей федеральных проектов, входящих в национальные проекты.

Вместе с тем, следует отметить, что методика для проведения оценки бюджетной эффективности национальных проектов и входящих в их состав национальных проектов, отсутствует.

Наличие пробелов в нормативном и методическом обеспечении оценки эффективности национальных проектов на федеральном уровне привела к тому, что в регионах разрабатываются и используются свои региональные методы оценки.

Методика Республики Алтай базируется на методических рекомендациях Министерства экономического развития РФ и предполагает расчет исходя из суммарного значения коэффициентов:

- эффективности реализации подпрограмм и основных мероприятий, обеспечивающих программу;
- отношения фактически достигнутого значение целевых показателей к плановым показателям;
- отношения фактических расходов на реализацию подпрограммы за счет всех источников финансирования к плановому объему финансирования;
- оценки качества управления государственной программой [13].

Таким образом, различные регионы России при оценке эффективности государственной политики в области здравоохранения используют различные методы: рейтинговый, экспертный, программно-целевой, интегрированный. Существующие методы оценки в основном направлены на измерение результативности программ, а не их эффективности. Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки, но их применение на практике позволяет с той или иной точностью дать оценку эффективности деятельности системы здравоохранения или эффективности реализации государственной программы.

Состояние реализации национальных проектов в сфере здравоохранения в Алтайском крае

Алтайский край входит в число субъектов Российской Федерации, а также в состав Сибирского федерального округа. В состав Алтайского края входит 10 городских округов и 59 муниципалитетов. Административным центром Алтайского края является город Барнаул.

Общая площадь Алтайского края составляет 169,1 тыс. кв. м. У региона выгодное расположение, так как граничит с Республикой Алтай, Новоси-

бирской, Кемеровской областями России, Павлодарской и Восточно-Казахстанской областями Республики Казахстан.

Численность населения Алтайского края по итогам 2020 г. составила 2,3 млн. чел., при плотности населения 13,67 чел/км².

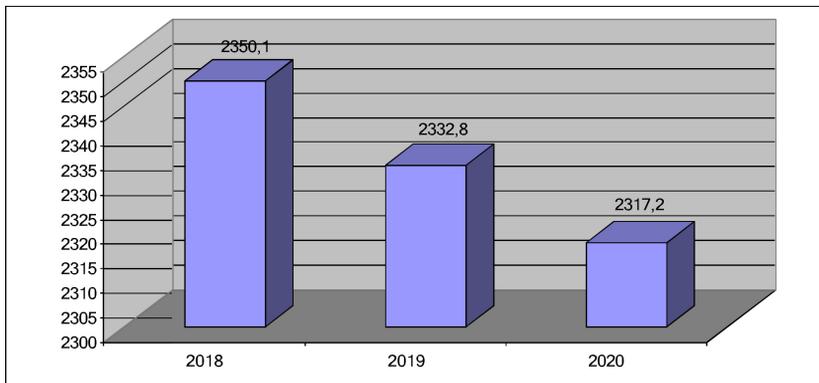


Рис. 5. Динамика численности населения Алтайского края за 2018-2020 гг., тыс. чел.

По данным рисунка 5 видно, что за период 2018-2020 гг. отмечается его убыль, что обусловлено естественной убылью населения и миграционными процессами за пределы края.

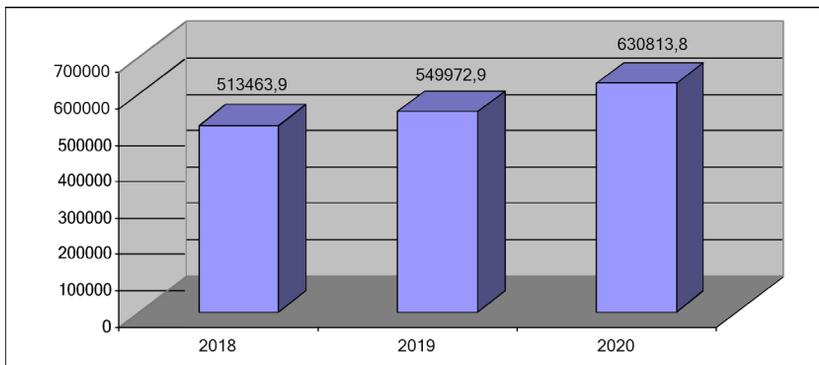


Рис. 6. Динамика номинального ВРП Алтайского края за 2018-2020 гг., млн. руб.

По данным рисунка 6 видно, что показатель валового регионального продукта за период 2017-2019 гг. имеет тенденцию к росту. Так, об-

щее увеличение ВРП за указанный период составило 117349,9 млн. руб. (+22,85%).

Проведем анализ системы здравоохранения Алтайского края за ряд лет, а именно с 2015 по 2020 гг. Проведенный нами анализ опирается на данные Росстата. Основные инструменты анализа: сравнение показателя со среднероссийским или по сравнению с показателем Сибирского федерального округа (далее СФО), а также расчет темпов роста. При проведении анализа при необходимости использовались сопоставимые показатели.

Основной показатель, характеризующий эффективность региональной системы здравоохранения, является уровень заболеваемости. Сравнивая уровень заболеваемости на 1000 человек населения по диагнозам, установленным впервые, мы увидим, что в Алтайском крае этот показатель выше как в сравнении с Российской Федерацией в целом, так и с СФО.

Превышение этого показателя говорит о неблагоприятной ситуации, складывающейся на протяжении многих лет, и обусловленной такими факторами как социальными (большая доля лиц, не ведущих здоровый образ жизни, пренебрежением мерами профилактики заболеваний), ресурсными (оснащение лечебно-профилактических учреждения, недостаток кадров и прочее).

Таблица 2.

**Заболеваемость населения по субъектам Российской Федерации
(зарегистрировано заболеваний у пациентов с диагнозом, установленным
впервые в жизни, на 1000 человек населения)**

| Показатель | 2015 г. | 2018 г. | 2019 г. | 2020 г. |
|---|---------|---------|---------|---------|
| Российская Федерация | 778,2 | 782,1 | 780,2 | 759,9 |
| Сибирский федеральный округ | 871,4 | 860,5 | 837,5 | 809,3 |
| Алтайский край | 1096,5 | 1089,2 | 1090,0 | 987,5 |
| Уровень показателя по Алтайскому краю к среднероссийскому уровню, % | 141 | 139 | 140 | 130 |
| Уровень показателя по Алтайскому краю к окружному уровню (СФО), % | 125,8 | 126,6 | 130,1 | 122,0 |

По данным таблицы мы видим, что в Алтайском крае заболеваемость населения гораздо выше, чем в среднем по России и по СФО. Так в 2020 г. превышение уровня заболеваемости в Алтайском крае превышает среднероссийский уровень на 30% и на 22% в сравнении с СФО. Позитивной тенденцией является то, что сам показатель сократился за этот период. Причем сокращение заболеваемости в регионе происходит быстрее чем в целом по России.

Высокая заболеваемость, на наш взгляд, обусловлена тем, что Алтайский край является аграрным регионом, в сельской местности проживает 42,9% населения, для сравнения в России в целом 25%. В результате чего доступность медицинских услуг и программ по профилактике заболеваний уменьшается. Ведь не секрет, что в сельской местности для населения медицинские услуги менее доступны. Эти и другие факторы приводят к тому, что заболеваемость в Алтайском крае высокая.

Рассмотрим, как в сравнении с Российской Федерацией и СФО в Алтайском крае обстоят дела с заболеваемостью по отдельным группам болезней. Анализ данных проведен по уровню 2019 года. Наглядно данные представлена на рисунке 7.

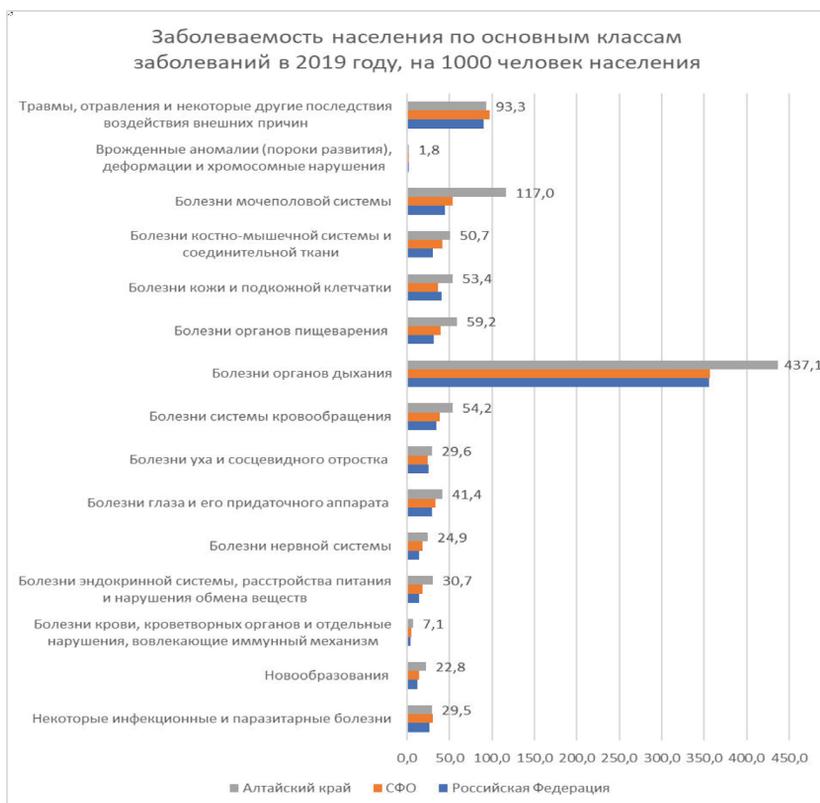


Рис. 7. Заболеваемость населения по основным группам заболеваний на 1000 человек в 2019 г.

Во-первых, мы видим, что большую долю заболеваемости вносят болезни органов дыхания. Во-вторых, мы видим, что практически по всем группам заболеваний уровень заболеваемости в Алтайском крае выше, чем в Российской Федерации и СФО. Исключения составляют: травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин; врожденные аномалии (пороки развития), деформации и хромосомные нарушения.

Превышение уровня заболеваемости по большинству видов заболеваний носят высокий характер. И в этом плане необходимо посмотреть динамику сравнительного показателя уровня заболеваемости по Алтайскому краю, по сравнению с СФО и Российской Федерацией по годам.

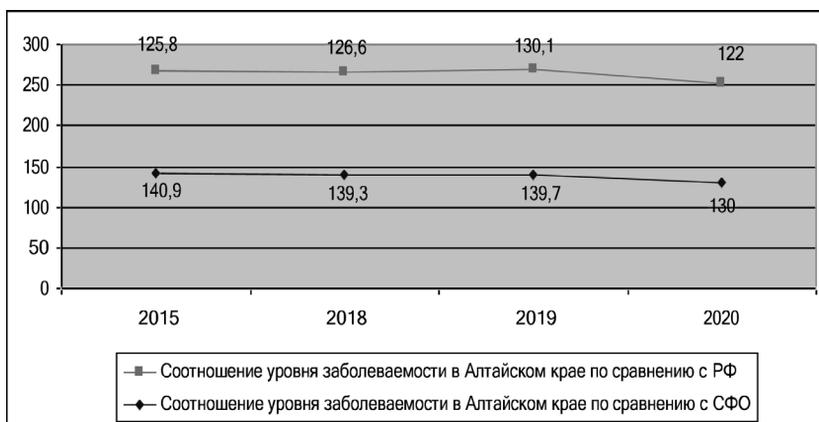


Рис. 8. Изменение соотношения показателя заболеваемости на 1000 человек в Алтайском крае по сравнению с РФ и СФО

Эта динамика также носит, как отмечалось выше, положительный характер, так как снижение соотношения говорит о снижении уровня заболеваемости в Алтайском крае по сравнению с СФО и среднероссийским показателем более высокими темпами.

Как отмечалось выше фактором высокой заболеваемости может быть ресурсный. Проанализируем ресурсное обеспечение системы здравоохранения в Алтайском крае (таблица 1).

Как мы видим, ресурсное обеспечение системы здравоохранения по числу больничных коек в Алтайском крае выше, чем в Российской Федерации и СФО, но вместе с тем, наблюдается снижение этого показателя, тогда как в Российской Федерации в целом число больничных коек растет.

Таблица 1.

Число больничных коек на 10 000 человек населения

| Регион | 2018 г. | 2019 г. | 2020 г. | Темп роста 2020 г. к 2018, % |
|-----------------------------|---------|---------|---------|---------------------------------|
| Российская Федерация | 79,9 | 80,0 | 81,3 | 101,8 |
| Сибирский федеральный округ | 90,1 | 88,9 | 89,1 | 98,9 |
| Алтайский край | 92,0 | 91,8 | 90,9 | 98,8 |

Еще одним показателем ресурсов системы здравоохранения является мощность амбулаторно-поликлинических организаций на 10 тысяч человек населения (таблица 2).

Таблица 2.

Мощность амбулаторно-поликлинических организаций на 10 000 человек населения по субъектам Российской Федерации

| Регион | 2018 г. | 2019 г. | 2020 г. | Темп роста 2020 г. к 2018, % |
|-----------------------------|---------|---------|---------|---------------------------------|
| Российская Федерация | 272,4 | 277,5 | 283,7 | 104,1 |
| Сибирский федеральный округ | 291,1 | 293,4 | 294,0 | 101,0 |
| Республика Алтай | 306,5 | 303,8 | 292,9 | 95,6 |

Если в 2018 г. по этому показателю в Алтайском крае мощность составляла 306,5 число посещений в смену и опережала СФО и Российскую Федерацию в целом, то к 2020 году этот показатель снизился на 4,4%. На наш взгляд одной из причин снижения мощности амбулаторно-клинических организаций и числа больничных коек стал дефицит кадров (таблица 3).

Таблица 3.

Численность врачей на 10 000 человек населения, на конец года

| Показатель | 2018 г. | 2019 г. | 2020 г. |
|---|---------|---------|---------|
| Российская Федерация | 47,9 | 48,7 | 50,4 |
| Сибирский федеральный округ | 48,9 | 48,8 | 49,2 |
| Алтайский край | 42,7 | 42,6 | 43,4 |
| Соотношение показателя в Алтайском крае по сравнению со среднероссийским значением, % | 89,1 | 87,5 | 86,1 |
| Соотношение показателя в Алтайском крае по сравнению СФО, % | 87,3 | 87,3 | 88,2 |

Если сравнить численность врачей на 10 000 человек населения в Алтайском крае по сравнению со среднероссийским значением и по СФО, мы увидим отставание по этому показателю.

По среднему медицинскому персоналу в Алтайском крае ситуация лучше, чем в Российской Федерации и СФО. Об этом можно сделать выводы по такому показателю как численность среднего медицинского персонала на 10 тыс. человек населения (таблица 4).

Таблица 4.

Численность среднего медицинского персонала на 10 000 человек населения, человек на конец года

| Регион | 2018 г. | 2019 г. | 2020 г. |
|-----------------------------|---------|---------|---------|
| Российская Федерация | 101,6 | 101,6 | 102,0 |
| Сибирский федеральный округ | 109,5 | 108,5 | 107,2 |
| Алтайский край | 105,3 | 104,6 | 102,6 |

Низкий уровень обеспечения специалистами в системе здравоохранения в Алтайском крае можно объяснить недостаточно высоким уровнем оплаты труда врачей и среднего медицинского персонала. Так если сравнить заработные платы сотрудников в организациях в месяц мы увидим, следующую картину (таблица 5).

Таблица 5.

Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников в организациях здравоохранения, руб.

| Регион | 2018 г. | 2019 г. | 2020 г. | Темп роста 2020 г. к 2018, % |
|---|---------|---------|---------|------------------------------|
| Российская Федерация | 40027 | 43122 | 49532 | 123,7 |
| Сибирский федеральный округ | 35157 | 37952 | 43009 | 122,3 |
| Алтайский край | 26434 | 29296 | 32625 | 123,4 |
| Соотношение показателя в Алтайском крае и Российской Федерации, % | 66,0 | 67,9 | 65,9 | 99,7 |

Наиболее важным показателем ресурсного обеспечения системы здравоохранения является бюджетная обеспеченность (таблица 6).

Таблица 6.

Расходы консолидированного бюджета на здравоохранение в расчете на 1 человека, тыс. руб.

| Регион | 2018 г. | 2019 г. | 2020 г. |
|-----------------------------|---------|---------|---------|
| Российская Федерация | 6 473 | 7 952 | 13 643 |
| Сибирский федеральный округ | 4 633 | 5 586 | 9 237 |
| Алтайский край | 3 461 | 4 411 | 7 170 |

По данным таблицы 6, расходы консолидированного бюджета в расчете на 1 человека в Алтайском крае почти в два раза ниже, чем в России в целом. Это говорит о неравномерном финансовом обеспечении системы здравоохранения по регионам, может быть обусловлено как невысоким уровнем оплаты труда, в чем мы убедились выше, а также тем, что в таких городах как г. Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург, Казань и других наличие крупных медицинских центров и комплексов приводит к большому объему бюджетных расходов в этих регионах. По такому показателю как расход на территориальные программы государственных гарантий, руб. на одного застрахованного значительной разницы по регионам не наблюдается. Расходы на территориальные программы государственных гарантий на одного застрахованного в 2020 г.:

- по нормативу 16292,5 руб.
- фактический в Российской Федерации - 22945,4 руб.
- фактический в СФО – 20887,7 руб.
- фактический в Алтайском крае - 17602,0 руб.

Далее рассмотрим объем инвестиций в системе здравоохранения (таблица 7).

Таблица 7.

Инвестиции в основной капитал, направленные на развитие здравоохранения на 1 человека, тыс. руб.

| Регион | 2018 г. | 2019 г. | 2020 г. | Темп роста 2020 г. к 2018, % |
|-----------------------------|---------|---------|---------|---------------------------------|
| Российская Федерация | 1581,9 | 2253,5 | 3952,8 | 249,9 |
| Сибирский федеральный округ | 1410,9 | 1958,7 | 2877,6 | 204,0 |
| Алтайский край | 1410,9 | 1975,9 | 2878,1 | 204,0 |

Данные таблицы показывают, что объем инвестиций в основной капитал (строительство, оборудование) на развитие системы здравоохранения в расчете на 1 человека в Алтайском крае отстает от аналогичного показателя в среднероссийском значении. То же можно сказать и о динамике инвестиций.

Таким образом, в Алтайском крае достаточно напряженная текущая ситуация в системе здравоохранения, которая выражается в высоком уровне заболеваемости, недостаточном кадровом обеспечении, низком уровне финансирования, и недостаточном объеме инвестиций. Реализация национального проекта «Здравоохранение» должна значительно улучшить ситуацию.

Реализация национального проекта «Здравоохранение» в Алтайском крае

На территории Алтайского края, как и в любом другом регионе Российской Федерации, реализуется национальный проект «Здравоохранение» [16]. Относительно национального проекта «Здравоохранение 2019-2024 гг.», можно выделить определенный круг факторов, которые способны оказать как положительное, так и негативное влияние на его реализацию (табл. 8).

Таблица 8.

Факторы макросреды, обуславливающие проблему реализации приоритетного национального проекта «Здравоохранение» в 2019-2024 гг. на уровне РФ

| Факторы | Анализ влияния фактора |
|--------------------|--|
| Политические | <ol style="list-style-type: none"> 1. Данный фактор можно охарактеризовать как с положительной стороны, которая проявляется в реализации 8 федеральных проектов, направленных на повышение качества оказываемых медицинских услуг, так и с негативной стороны, которая проявляется в несовершенстве правовых аспектов, которые могут породить нарушения норм действующего законодательства. 2. Рост требований к ответственным за соблюдение и реализацию федеральных проектов в рамках нацпроекта «Здравоохранение». Рост требований позволяет усилить контроль за целевым использованием средств, выявить нарушения рамок реализации федеральных программ и другое. 3. В условиях обострения ситуации в мире, связанной с коронавирусной эпидемией, многие страны прекратили прямое взаимодействие между собой, что влечет за собой снижение экспортных операций, в т.ч. в области поставки необходимого объема и ассортимента медикаментов, оборудования, в т.ч. жизненно необходимых препаратов и лекарственных средств |
| Демографические | Несмотря на рост численности населения РФ, который по данным Федеральной службы государственной статистики за 2015-2019 гг. составил 0,5 млн. чел. (+0,34%), отмечается положительная динамика роста смертности, в том числе по причине роста онкозаболеваемости. |
| Экономические | Нестабильность экономики на сегодняшний день негативно сказывается на многих отраслях экономики, в т.ч. и на отрасли здравоохранения. Нестабильность курса рубля и его падение, а также скачки курсов национальных валют, негативно оказывают влияние на стабильность и стоимость закупок лекарственных средств и препаратов за рубежом, а также закупок оборудования. Кроме того, намеченное строительство новых амбулаторных и лечебных учреждений может подвергнуться экономической нестабильностью, что будет способствовать остановке строительных работ. |
| Научно-технические | На сегодняшний день нельзя утверждать, что научно-технический прогресс в России имеет положительную динамику. Всем известно, что НТП в России является в удручающем состоянии, что не позволяет проводить в необходимом объеме научные исследования в области медицины. |

Реализация национального проекта «Здравоохранение» на территории Алтайского края преследует следующие цели:

- снижение смертности населения трудоспособного возраста до 350 случаев в расчете на 100 тыс. чел.;
- снижение смертности в связи с болезнями системы кровообращения до 450 случаев на 100 тыс. чел.;
- снижение смертности от новообразования до 201,4 случаев на 100 тыс. чел.;
- снижение младенческой смертности до 4,8 случаев на 1 тыс. чел.;
- проведение профосмотров для всех категорий граждан не реже 1 раза в год;
- увеличение объемов экспорта медицинских услуг не менее, чем в 4 раза и другие (всего более 200 показателей).

Задача программы: создание благоприятных условий для привлечения в регион высококвалифицированных медицинских работников с высшим профессиональным медицинским образованием (врачи-специалисты) по отдельным должностям для работы в бюджетных учреждениях здравоохранения, которые оказывают экстренную и неотложную медицинскую помощь населению города.

Приоритетом политики в сфере реализации проекта является обеспечение повышения эффективности оказания населению Алтайского края скорой экстренной и неотложной медицинской помощи в амбулаторных и стационарных условиях.

Конечными результатами реализации программы являются сохранение доли высококвалифицированных медицинских работников с высшим профессиональным медицинским образованием (врачи-специалисты), оказывающих экстренную и неотложную медицинскую помощь населению города, получивших служебные жилые помещения, в общем объеме работников данной категории, имеющих на него право и обратившихся за его получением на уровне 100%, а также сохранение доли высококвалифицированных медицинских работников с высшим профессиональным медицинским образованием (врачи-специалисты), оказывающих экстренную и неотложную медицинскую помощь населению города, получивших социальную помощь, в общем объеме работников данной категории, имеющих на нее право и обратившихся за ее получением на уровне 100%.

Национальный проект «Здравоохранение» Алтайского края включает в себя следующие региональные проекты [18]:

1. Развитие детского здравоохранения Алтайского края, включая создание современной инфраструктуры оказания медицинской помощи детям.

2. Борьба с сердечно-сосудистыми заболеваниями.
3. Борьба с онкологическими заболеваниями.
4. Развитие системы оказания первичной медико-санитарной помощи.
5. Обеспечение медицинских организаций системы здравоохранения Алтайского края квалифицированными кадрами.
6. Развитие экспорта медицинских услуг.
7. Создание единого цифрового контура в здравоохранении Алтайского края на основе единой государственной информационной системы здравоохранения ЕГИСЗ.

На реализацию национального проекта за весь период его реализации будет направлено 19 229,8 млрд. руб. При этом наибольшая доля расходов на реализацию проекта предполагается получить из государственных внебюджетных фондов (рисунок 9). Это является особенностью финансирования анализируемой программы. Еще одной особенностью является отсутствие внебюджетных источников.

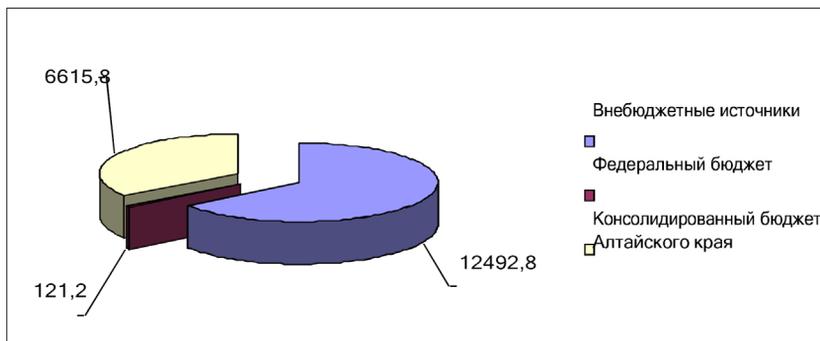


Рис. 9. Источники финансирования национального проекта Алтайского края за 2019-2024 гг., млрд. руб.

По направлениям объем финансирования распределен следующим образом (таблица 9).

Региональные программы по обеспечению кадрами и экспорту услуг, имея целевые показатели и механизмы реализации, по сути, финансируются в рамках оставшихся программ.

В связи с тем, что реализация национального проекта осуществляется на протяжении трех лет, и предстоит еще три года, судить о положительных результатах его реализации еще рано. Проблемы в реализации национального проекта существуют по всем пунктам и практически во всех

регионах. Чиновники на местах либо не имеют представление о том, как внедрять в реальную работу на местах национальную программу.

Таблица 9.

Объем финансирования отдельных направлений по национальному проекту «Здравоохранение» в Алтайском крае

| Направления проекта | Объем финансирования за 2019-2024 гг. | |
|---|---------------------------------------|----------------------|
| | Сумма, млн руб. | В % от общего объема |
| 1. Развитие детского здравоохранения, включая создание современной инфраструктуры оказания медицинской помощи детям | 1 038,4 | 5,40 |
| 2. Борьба с сердечно-сосудистыми заболеваниями | 1 420,1 | 7,38 |
| 3. Борьба с онкологическими заболеваниями | 15 020,5 | 78,11 |
| 4. Развитие системы оказания первичной медико-санитарной помощи | 761,5 | 3,96 |
| 5. Обеспечение медицинских организаций системы здравоохранения Алтайского края квалифицированными кадрами | 0,0 | 0,00 |
| 6. Развитие экспорта медицинских услуг | 0,0 | 0,00 |
| 7. Создание единого цифрового контура в здравоохранении на основе единой государственной информационной системы здравоохранения (ЕГИСЗ) | 989,5 | 5,15 |
| Итого | 19 229,8 | 100,0 |

По данным проведенного опроса, можно сделать вывод, что «представители отрасли здравоохранения сомневаются в эффективной реализации ключевых целей национального проекта «Здравоохранение», в том числе снижении смертности, заболеваемости и сокращении дефицита кадров в медучреждениях. Успешному старту государственной программы могут помешать недостаточная готовность к ней индустрии, организационные риски и коррупция», с чем нельзя не согласиться. Такие данные были получены в результате проведения опроса администрацией сайта Vademecum [6].

Реализация федерального проекта «Борьба с онкологическими заболеваниями» исходя из последних данных может быть провалена. В проекте упор сделан на создание так называемых центров амбулаторной онкологической помощи. Так, из 138 онкоцентров на 2019 г., было открыто всего 35. Кроме того, запрошенные отчеты из регионов, с целью отслеживания статистики выполнения плановых показателей по данному проекту, большая часть регионов проигнорировала.

Уровень смертности также за указанный год увеличился на 1,9%, что противоречит ключевой цели рассматриваемого национального проекта «Здравоохранение».

Таким образом, можно выделить основные проблемы реализации проекта:

- коррупция (негативное влияние которой можно было бы частично минимизировать за счет внедрения передовых технологий контроля над взаимодействиями хозяйствующих субъектов, в частности, технологии блокчейн [22, 26]);
- неготовность отрасли здравоохранения к готовящимся изменениям;
- организационные риски;
- отсутствие содействия со стороны региональной власти по внедрению национального проекта.

Особенно остро стоит проблема с обеспеченностью травматологами, хирургами, отоларингологами и офтальмологами.

Для решения кадровых проблем, принимаются меры по перераспределению медицинского персонала по субъектам Алтайского края. Особенно данная проблема характерна для сельской местности, где наблюдается очевидная нехватка специалистов. С этой целью Правительством региона совместно с Министром здравоохранения края создаются наиболее привлекательные условия для переезда специалистов в села, а также осуществляется стимулирование их дополнительными выплатами и предоставлением жилья. На эти цели из бюджета Алтайского края было выделено около 68 млн. рублей в 2020 г.

В рамках программы 1,5 млн. рублей получают сотрудники, которые отработали в медицинских учреждениях Алтайского края не менее 5 лет. Деньги выплачиваются на протяжении 5 лет. И предоставляется служебное жилье. По второй программе 250 тысяч рублей – единоразово, но надо отработать не менее 2 лет.

Необходимость развития здравоохранения на территории Алтайского края обусловила формирование ряда стратегических целей, среди которых необходимо отметить такие как:

- достижение высокого уровня оказания медицинской помощи;
- эффективное и рациональное управление финансовыми средствами;
- обеспечение персональной социальной и профессиональной ответственности всех работников;
- повышение профессионального мастерства работников;
- формирование оптимальных условий работникам для выполнения своих должностных обязанностей;

- обеспечение благоприятных условий развития, психологического и профессионального роста коллективов учреждений здравоохранения.

Достичь этих целей возможно только при реализации региональных и федеральных программ.

На уровне Алтайского края мероприятия национального проекта реализуются в рамках региональных и муниципальных программ.

С целью поиска решения проблемы кадрового обеспечения медицины в Алтайском крае задействованы все способы поиска и привлечения специалистов в край. Поиск медицинского персонала осуществляется в различных регионах России. Для этого задействованы интернет-ресурсы, сайты по размещению объявлений о найме сотрудников и другие. Однако на данный момент применение таких вариантов поиска не дали необходимого результата. В решении данной проблемы Министр здравоохранения Алтайского края видит только вариант, направленный на подготовку молодых специалистов, а также разработку мер по их удержанию в регионе. На сегодняшний день, правительство края совместно с главой здравоохранения региона реализует меру по стимулированию специалистов в сфере здравоохранения дополнительными выплатами и предоставлением жилья. Только за 2019 г. дополнительные выплаты получили 103 медицинских работника, из которых 80 врачей и 23 работника, относящихся к среднему медперсоналу.

Кроме того, медицинскому персоналу, проживающему в сельской местности, предоставляются меры социальной поддержки. По итогам 2020 г. такими мерами воспользовались около 9 тыс. сотрудников медицинских учреждений.

Особо остро проблема с обеспечением кадров медицинских учреждений встала в 2020-2021 гг., в период распространения по территории Российской Федерации, в том числе и на территории Алтайского края, новой коронавирусной инфекцией. Всплеск эпидемии усилил отток медицинского персонала в более развитые регионы, особенно в Москву и Московскую область, что обусловлено наиболее высоким уровнем оплаты труда сотрудников, работающих в ковидных госпиталях. Положительным моментом в период борьбы со сложной эпидемиологической ситуацией явилось то, что позволило привлечь из других регионов недостающих специалистов, а также обменяться накопленным опытом.

На сегодняшний день в Алтайском крае уже имеются положительные результаты реализации национального проекта «Здравоохранение». С достигнутыми целевыми показателями и индикаторами можно ознакомиться ниже:

- создано 9439 автоматизированных рабочих мест в медицинских учреждениях;
- введено в эксплуатацию 18 ФАПов;
- 132 медицинских учреждения приняли участие в программе внедрения «бережливых технологий»;
- в г. Камень-на-Оби создан 1 амбулаторный онкологический центр;
- новое оборудование было получено 41 деткой поликлиникой;
- получено новое оборудование для лечения сердечно-сосудистых заболеваний 4 крупными больницами края;
- капитальный ремонт проведен в 17 детских поликлиник края.

Таким образом, можно заключить, что реализация национального проекта «Здравоохранение» на территории Алтайского края нацелена на доступность медицинской помощи, повышение ее качества, а также на выход на новый уровень взаимоотношений между врачами и их пациентами. Кроме того, проект нацелен на предупреждение заболеваемости их диагностику на более ранней стадии, что подтверждается особо уделенным вниманием к профилактическим осмотрам и диспансеризации.

Система целевых показателей национального проекта «Здравоохранение» включает 28 показателей в целом по национальному проекту (так называемые федеральные показатели) и более 200 показателей по региональным проектам.

Из более двухсот целевых показатели национального проекта «Здравоохранение» и региональных проектов, статистического учета, Росстата, являющихся общедоступными в настоящее время поддается 4 показателя. В целом же Росстат готов осуществлять мониторинг показателей, для этих целей издан «Методика расчета показателей национальных проектов (программ)», в которой предложены методы расчета всех показателей, используемых для оценки эффективности национальных проектов [11].

Ниже приведена таблица 10 с данными, которые в настоящее время учитываются и публикуются Росстатом, и одновременно являются целевыми показателями национального проекта «Здравоохранения».

Анализ плановых и фактических показателей показывает, что ситуация в здравоохранении в Алтайском крае ухудшилась в части смертности трудоспособного населения. Так по плану уровень смертности лиц трудоспособного возраста в 2020 году должен был составить 480, а составил 613,9. Причем этот показатель вырос по сравнению с 2019 годом и 2018 годом. Это говорит о том, что в условиях пандемии COVID-19 система здравоохранения не справилась с возросшими трудностями, что повлекло смертность населения.

Таблица 10.

**Статистические данные и целевые показатели национального проекта
«Здравоохранение»**

| Показатель | план (факт) | 2019 г. | 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. | 2023 г. | 2024 г. (целевой показатель) |
|---|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|------------------------------------|
| Снижение смертности экономически активного населения | план | 540 | 480 | 401 | 380 | 335 | до 350 |
| | факт | 556,8 | 613,9 | - | х | х | |
| Снижение смертности населения от болезней в области кровяного обращения | план | 585,0 | 580,0 | 575,0 | 555,0 | 535,0 | до 450 |
| | факт | 608,9 | 707,3 | - | х | х | |
| Снижение смертности больных онкологией | план | 210,0 | 200,0 | 196,8 | 195,1 | 193,4 | до 185 |
| | факт | 231,0 | 229,7 | - | х | х | |
| Снижение младенческой смертности | план | 5,8 | 5,6 | 5,4 | 5,3 | 5,0 | до 4,8 |
| | факт | 5,3 | 4,8 | - | х | х | |

Также мы видим рост отрицательного показателя – смертность от заболеваний систем кровообращения. По плану этот показатель должен был равен 580 на 100 тысяч населения, а составил 707,3.

Что касается смертности по онкозаболеваниям, то мы видим, что в 2020 г. наблюдаются положительные тенденции, и смертность сокращается. Но этот показатель все же выше, чем плановый. Так по плану в 2020 г. он должен был равен 200, а составил 229,7.

Позитивными результатами деятельности системы здравоохранения в Алтайском крае стали по направлению медицинской помощи детям. Мы видим, что плановый показатель по младенческой смертности был достигнут с четырехлетним опережением. Такому результату способствовало серьезное оснащение КГБУЗ «Алтайского краевого клинического центра охраны материнства и детства», который был создан путем присоединения к Алтайской краевой клинической детской больнице перинатального центра (клинического) Алтайского края и городской детской больницы №2 г. Барнаула. В состав центра входят стационар на 670 коек (30 отделений), 14 диагностических отделений и детский консультативно-диагностический центр на 350 посещений в смену [15].

Мы видим, что для достижения целевых показателей в Алтайском крае нужно в оставшиеся три года форсировать выполнения ряда мероприятий, и качественно и структурно изменить саму систему здравоохранения.

В то же время сам мониторинг среди качественных целевых показателей представлен выборочно, и не носит системный характер. В основном это отчеты Министерства здравоохранения. Отсутствие системности выражается в том, что оценка выполнения показателей осуществляется не по всем показателям, а также при отсутствии анализа выполнения календарного плана.

Все же некоторые итоги подвести можно. Так среди наиболее значимых результатов национального и региональных проектов «Здравоохранения» можно выделить следующие (таблица 11).

Таблица 11.

Результаты реализации национального проекта «Здравоохранение» и региональных проектов в Алтайском крае [4]

| Результат | Объем финансирования, млн. руб. |
|---|---------------------------------|
| Ввод в эксплуатацию 21-го модульного фельдшерско-акушерского пункта с количеством прикрепленного населения 10260 человек | 106,3 |
| Приобретено 18 мобильных комплексов, включая 1 маммограф и 2 флюорографа | 148,2 |
| Реализовали новые организационно-планировочные решения в 82 детских поликлиниках, включая приобретения 283 единиц медицинского оборудования. В результате 95,35% в детских поликлиниках созданы комфортные условия пребывания | 541,2 |
| По программам «Земский доктор» и «Сельский фельдшер» трудоустроено 80 врачей и 40 фельдшеров | 125 |
| Создана единая диспетчерская служба, внедрено система мониторинга в детских реанимациях | Нет данных |
| Создано 21 реанимационное место для больных сердечно-сосудистыми заболеваниями | Нет данных |
| Открыт первый амбулаторный центр онкологической помощи на базе Каменской центральной районной больницы | Нет данных |
| Организована ординатура в межрайонных центрах | Нет данных |

К сожалению, как отмечалось выше, системной доступной оценки результативности реализации национальных проектов на промежуточных этапах его реализации нет. В связи с этим достаточно сложно оценить эффективность национальных, и включенных в них региональных проектов по субъектам Российской Федерации по состоянию на конец 2021 г.

Анализ существующих подходов к оценке государственных проектов и программ, показал, что они не совсем соответствуют понятию эффективности. Так как эффективность подразумевает сравнение затрат и результатов. Вместе с тем, оценивать эффективность коммерческих и социальных проектов одинаково также не корректно.

С целью совершенствования методики оценки национального проекта «Здравоохранение», реализуемого на территории Алтайского края, будет предложено воспользоваться методикой оценки социальной эффективности таких проектов, разработанной экспертами Высшей школой организации и управления здравоохранением. Такая точка зрения в большей степени связана с тем, что все же, реализация национального проекта больше направлена на социальное развитие региона. Обзор этой методики был представлен выше. В основе методики применяется соотношение результаты (затраты). Также для оценки эффективности в соответствии с данной методикой используются данные являющиеся доступными на сайте Росстат.

Методика предполагает балльную оценку по четырем показателям и их суммирование.

Таблица 12.

Методика расчета интегрального показателя эффективности проектов в системе здравоохранения

| Показатель | Удельный вес | Разброс баллов | Порядок присвоения баллов |
|---|--------------|----------------|--------------------------------------|
| Ожидаемая продолжительность жизни, лет | 0,5 | 0-50 | Чем выше показатель, тем выше балл |
| ВРП на душу населения, тыс. руб. | 0,1 | 0-10 | Чем выше показатель, тем меньше балл |
| Государственное финансирование здравоохранения на душу населения, тыс. руб. | 0,3 | 0-30 | Чем выше показатель, тем меньше балл |
| Продажа крепких алкогольных напитков, декалитров на человека | 0,1 | 0-10 | Чем выше показатель, тем выше балл |
| Итого | 1,0 | 0-100 | |

Методика расчета основана на основе системного представления об эффективности здравоохранения в экономике региона. Поэтому чем больше объем финансирования и доходов, тем меньше балл, так как эффективность предполагает меньшие расходы при достижении схожих результатов. Продажа алкогольных напитков нивелирует показатель внешнего влияния

на здоровье граждан помимо здравоохранения, ведь известно: чем меньше алкоголя употребляет населения, тем выше продолжительность жизни, и здравоохранение здесь не причем.

Руководствуясь методикой, предложенной Экспертами Высшей школы организации и управления здравоохранением (ВШОУЗ), основанной на проведении рейтинговой оценки эффективности региональных систем здравоохранения, были получены следующие результаты. Изначально методика предназначена для сравнения субъектов Российской Федерации по эффективности системы здравоохранения. В настоящей работе проведен расчет показателя по Алтайскому краю за два года 2019 и 2020 г.

Вначале ознакомимся с результатами анализа проведенными ВШОУЗ. В первую десятку рейтинга входит большинство регионов Северо-Кавказского федерального округа: Республики Дагестан, Ингушетия, Чеченская, Кабардино-Балкарская, а также Ставропольский край. Два региона из Приволжского федерального округа – Кировская область, Чувашская Республика. Из Южного федерального округа в десятку вошли Республика Адыгея, Волгоградская и Ростовская области. Из Центрального федерального округа никто не попал в первую десятку. На первом месте – Республика Дагестан, в ней граждане живут до 77,2 года, почти как в «новых-8» странах ЕС – Чехии, Эстонии, Венгрии, Польше, Словакии, Словении, Латвии и Литве (77,4 года в 2015 г.) [19].

Традиционно более здоровый образ жизни и благоприятный климат определяют высокую продолжительность жизни, Меньшее потребление горячительных напитков позволил получить вычет из суммарного балла в рейтинге. В конце списка оказались 10 наиболее низкоэффективных в области здравоохранения регионов – Иркутская, Магаданская, Свердловская, Тверская области, Республики Коми и Хакасия, Еврейская автономная область, Камчатский край, Чукотский Автономный округ. В этих регионах необходимо изменить отношение к проблеме охраны здоровья населения, и прежде всего, обеспечить доступную и качественную медицинскую помощь.

Проведенный анализ свидетельствует о том, что географические и климатические условия оказывают существенное влияние на показатель общей продолжительности жизни, несмотря на меньшие объемы финансирования сферы здравоохранения. Но и в определенных группах климатогеографических условий, на которые, согласно рейтингу, были поделены все субъекты Российской Федерации, имеется существенная дифференциация по сложившейся ситуации и резервам повышения эффективности. Выделены четыре группы зон:

- центральная (регионы Центральный федеральный округ, Приволжский федеральный округ, Северо-Западный федеральный округ);
- южная (регионы Южный федеральный округ и Северо-Кавказский федеральный округ);
- уральская и зауральская зона (регионы Уральский федеральный округ, Сибирский федеральный округ, Дальневосточный федеральный округ);
- арктическая.

В рейтинге эффективности третьей зоны список возглавили Томская, Тюменская и Новосибирская области. Рассмотрим данный рейтинг на рисунке 10 [19].

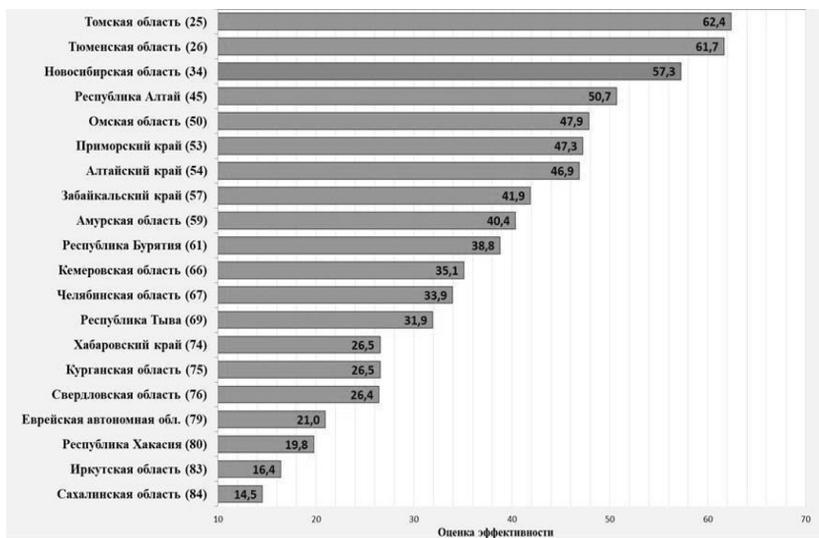


Рис. 10. Рейтинг эффективности здравоохранения субъектов Зауральской зоны [19]

В Томской области ожидаемая продолжительность жизни близка к общероссийскому показателю (71,7 года), при меньших на 9% затратах на здравоохранение. Сахалинская область тратит на сферу здравоохранения на 76% больше, чем в среднем по России, но показатель Ожидаемая продолжительность жизни в регионе на 3,2 года ниже. Минимальное значение показателя ожидаемой продолжительности жизни (64,4 года) имеет место в Чукотском автономной области и Магаданской области, при су-

щественно больший, чем среднероссийские расходы на здравоохранение показателях (на 50%).

Таким образом, можно согласиться учеными, которые утверждают, что «результативность отрасли зависит не только от величины затрат на здравоохранение, но и активного осуществления прогрессивных преобразований в организации медицинской помощи населению, что особенно актуально в условиях ухудшения социально-демографической ситуации в России» [7].

Исходные данные для расчетов интегрального показателя эффективности здравоохранения Алтайского края за 2019-2020 гг. представлены таблице 13.

Таблица 13.

Входные данные для расчета интегрального показателя эффективности здравоохранения Алтайского края за 2019-2020 гг.

| Показатель | 2019 г. | 2020 г. | Изменение, % |
|--|-----------|-----------|--------------|
| Ожидаемая продолжительность жизни, лет | 71,61 | 70,19 | - 2 |
| ВРП на душу населения, рублей | 247 599,3 | 271 319,7 | + 9,5 |
| Государственные расходы на здравоохранение на душу населения | 18 045,3 | 21 363,8 | + 18 |
| Потребления алкогольной продукции на 1 человека, литр чистого (100 %) спирта | 5,6216 | 5,3943 | + 4 |

По расчетам интегральной оценки можно сделать вывод о снижении эффективности системы здравоохранения в Алтайском крае. Для справедливости нужно отметить, что инвестиционные проекты в социальную сферу, такие как здравоохранения и образования эффект будет наблюдаться спустя несколько лет. Наиболее весомый показатель в данной методике – продолжительность жизни меняется медленно (табл. 14).

Таким образом, анализ оценки эффективности национального проекта «Здравоохранение» показал, что использование только количественных показателей эффективности показал ухудшение ситуации в системе здравоохранения Алтайского края, вероятнее всего, обусловленной коронавирусной инфекцией 2020-2021 гг. Для более полной и объективной оценки эффективности национального проекта «Здравоохранения» и региональных проектов ее необходимо проводить после 2024 года. Для текущего анализа и мониторинга следует преимущественно использовать качественные показатели, а именно выполнение мероприятий проектов по календарному графику. В целом для повышения эффективности реа-

лизации национального проекта здравоохранения рекомендуется создать своевременную систему мониторинга реализации национального проекта.

Таблица 14.

Расчет интегрального показателя эффективности системы здравоохранения Алтайского края за два года, без учета других регионов

| Показатель | Вес показателя | Балл за 2019 г. | Баллы 2019 г. с учетом весов | Изменение балла в 2020 г. | Балл за 2020 г. с учетом весов |
|---|----------------|-----------------|------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Ожидаемая продолжительность жизни, лет | 0,5 | 50 | 25 | - 2% | 48 баллов |
| ВРП на душу населения, рублей | 0,1 | 50 | 5 | + 9,5% | 45,2 балла |
| Государственные расходы на здравоохранение на душу населения | 0,3 | 50 | 15 | + 18% | 40,8 баллов |
| Потребления алкогольной продукции на 1 человека, литр чистого (100%) спирта | 0,1 | 50 | 5 | + 4% | 48 баллов |
| Итого | 1,0 | | 50,0 | | 45,56 |

Заключение

В Алтайском крае начата реализация масштабного социального проекта - национальная программа «Здравоохранение». Сокращение численности населения Алтайского края соответствует общей тенденции. Инфаркты, инсульты и другие последствия болезней системы кровообращения продолжают оставаться самой распространенной причиной. На них приходится 42,5% всех смертей. На втором месте – новообразования. Это 808 человек или 13,9% от общего числа умерших.

В Алтайском крае в рамках национального проекта «Здравоохранение» необходимо продолжить внедрение телемедицинских технологий. В медицинских организациях могут создаваться телемедицинские центры или пункты. Наиболее распространенным способом применения телемедицинских технологий при оказании медицинской помощи пациентам с сердечно-сосудистой патологией является телеэлектрокардиография.

Национальный проект «Здравоохранение» Алтайского края включает в себя следующие основные направления:

- развитие детского здравоохранения Алтайского края, включая создание инфраструктуры по оказанию медицинской помощи детям;

- борьба с сердечно-сосудистыми и онкологическими заболеваниями;
- развитие системы оказания первичной медико-санитарной помощи;
- обеспечение медицинских организаций системы здравоохранения Алтайского края квалифицированными кадрами;
- развитие экспорта медицинских услуг;
- создание единого цифрового контура в здравоохранении Алтайского края на основе ЕГИСЗ.

Необходимость развития здравоохранения обусловила формирование ряда стратегических целей, среди которых необходимо отметить такие как:

- достижение высокого уровня оказания медицинской помощи;
- эффективное и рациональное управление финансовыми средствами;
- обеспечение персональной социальной и профессиональной ответственности всех работников;
- формирование оптимальных условий работникам для выполнения своих должностных обязанностей;
- обеспечение благоприятных условий развития, психологического и профессионального роста коллективов учреждений здравоохранения.

Достичь этих целей возможно только при реализации региональных и федеральных программ.

Анализ результатов реализации национального проекта «Здоровье» показал, что на современном этапе нельзя говорить о достижении показателей эффективности реализации национального проекта. В качестве основных проблем можно выделить кадровый дефицит отрасли здравоохранения, диспропорции в загрузке лечебных учреждений, недостаточный уровень развития реанимационной помощи. Положительные тенденции отмечаются в сфере достижения индикатора снижения младенческой смертности. В условиях естественной убыли населения этот индикатор имеет особенно важное значение.

Основным механизмом реализации проектных мероприятий выступает их закрепление в муниципальных программах, а также реализация краевых программ. Для создания условий развития эффективной медицинской помощи разработана и реализуется программа «Создание условий для оказания высококвалифицированной экстренной и неотложной медицинской помощи населению» на 2019-2023 гг.

С учетом выявленных специфических проблем здравоохранения в силу сложившейся ситуации с оптимизацией учреждений здравоохранения модель реализации национального проекта необходимо дополнить такой целевой установкой, как оптимизация инфраструктуры отрасли

здравоохранения. При этом одну из стратегических целей - обеспечение оптимальной доступности качественной медицинской помощи для населения необходимо расширить, сделав упор на обеспечении соответствия внутренних стандартов качества оказания помощи установленным требованиям.

Исследование различных оценок эффективности национального проекта «Здравоохранение» на территории Алтайского края, показало ухудшении ситуации в отрасли, обострившейся в 2020-2021 гг., а также о необходимости полного мониторинга мероприятий программ и проектов с учетом количественных и качественных показателей. По результатам работы следует отметить, что оценить эффективность инвестиционных проектов в здравоохранении весьма сложно, из-за того, что на здоровье населения влияют множество факторов, не всегда связанных с оказанием медицинских, профилактических и диагностических услуг. Кроме того, расходы на здравоохранение несут не краткосрочный, а долгосрочный эффект.

Список литературы

1. Баяева А.А. Проблемы регионального управления в системе здравоохранения // Образование и наука без границ: социально-гуманитарные науки. 2017. № 6. С. 82.
2. Бухтиярова Т.И., Кутиков В.В. Организация экономической безопасности текущей предпринимательской деятельности: учебное пособие. Барнаул: УрГЭУ, 2016. С. 97.
3. Власова О. В. К вопросу о результатах модернизации в здравоохранении РФ // Региональный вестник. 2020. № 2. С. 81.
4. В Алтайском крае подвели итоги реализации национального проекта «Здравоохранение». URL: <https://www.altairregion22.ru/projects/novostipatsproektov/> (дата обращения: 20.01.2023).
5. Дивеева А. А. Проблемы управления здравоохранением: региональный аспект // Многоуровневое общественное воспроизводство: вопросы теории и практики. 2017. № 13. С. 101.
6. Данные социологических опросов. URL: <https://vademec.ru/projects/magazines/> (дата обращения: 20.02.2023).
7. Кривенко Н.В., Цветков А.И. Эффективность здравоохранения для обеспечения экономической безопасности в регионе // Экономика региона. 2018. № 3. С. 972.
8. Котляр Е.В., Пушкарева Е.М. Система управления проектами Канбан // Бизнес-образование в экономике знаний. 2020. № 1. С. 58.

9. Куделич М.И. Система нормативных требований к оценке эффективности национальных проектов: актуальные проблемы // Финансовый журнал. 2019. №4. С. 38.
10. Маркарьян Э.А., Герасименко Г.П. Экономический анализ хозяйственной деятельности: учебное пособие. М.: КНОРУС, 2019. С. 253.
11. Методика расчета показателей национальных проектов (программ). URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/118596> (дата обращения: 15.11.2022).
12. Нарбекова К.А. Государственно-частное партнерство в здравоохранении // Экономика, социология и право. 2016. № 11. С. 44.
13. Об утверждении методических рекомендаций по проведению ранжирования проектов (программ) и ведомственных целевых программ с учетом оценки достижения целей государственных программ Российской Федерации: приказ Министерства экономического развития РФ от 15.11.2017 № 607. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_284067/ (дата обращения: 25.12.2022).
14. Об организации проектной деятельности в Правительстве Российской Федерации: постановление Правительства РФ от 31.10.2018 № 1288 (ред. от 24.06.2021). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_310151/ (дата обращения: 24.06.2022).
15. Официальные данные КГБУЗ «Алтайский краевой клинический центр охраны материнства и детства». URL: <http://akkdb.ru/deyatelnost/diagnostika-i-issledovaniya/> (дата обращения: 19.12.2022).
16. Паспорт национального проекта «Здравоохранение»: протокол президиума Совета при Президенте России по стратегическому развитию и национальным проектам от 24.12.2018 № 16. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_319209/ (дата обращения: 16.12.2022).
17. Петлах В.И., Окулов Е.А. Роль телемедицинских консультаций при оказании высокотехнологичной медицинской помощи детям в хирургическом стационаре // Здравоохранение. 2013. № 11. С. 63.
18. Развитие здравоохранения в Алтайском крае: государственная региональная программа Алтайского края от 26.12.2019 № 541. URL: <https://docs.cntd.ru/document/561674510> (дата обращения: 13.10.2022).
19. Рейтинг эффективности здравоохранения регионов РФ. URL: <https://www.vshouz.ru/journal/2021-god/rejting-effektivnosti-sistem-zdravookhraneniya-regionov-rf-v-2019-g/> (дата обращения: 10.01.2023).
20. Улумбекова Г.Э., Гинойн А.Б., Калашникова А.В. Индекс эффективности 85 регионов РФ по здравоохранению // Вестник высшей школы организации и управления здравоохранением. 2017. № 1. С. 24.

21. Brzakovic M. Human enhancement ethics concerning future biomedical engineering // *Journal of Quality and System Engineering*, 2022, vol. 1, no. 1, pp. 30-35.
22. Doguchaeva S., Zubkova S., Katrashova Yu. Blockchain in public supply chain management: advantages and risks // *Transportation Research Procedia*, 2022, vol. 63, pp. 2178-2178. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.244>
23. Gorbachev V., Klokonos M., Mutallibzoda S., Tefikova S., Orlovtsseva O., Ivanova N., Posnova G., Velina D., Zavalishin I., Khayrullin M., Bobkova E., Kuznetsova E., Vorobeveva A., Vorobyev D., Nikitin I. Antiradical Potential of Food Products as a Comprehensive Measure of Their Quality // *Foods*, 2022 Mar 23, vol. 11(7), p. 927. <https://doi.org/10.3390/foods11070927>
24. Korableva O.N., Mityakova V.N., Kalimullina O.V. Designing a decision support system for predicting innovation activity. Paper presented at the ICEIS 2020 - Proceedings of the 22nd International Conference on Enterprise Information Systems, 2020, vol. 1, pp. 619-625.
25. Korableva O.N., Gorelov N., Kalimullina O. Contemporary issues of intellectual capital: Bibliographic analysis // *Engineering Assets and Public Infrastructures in the Age of Digitalization*. 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48021-9_51
26. Maiti M., Kotliarov I., Lipatnikov V. A future triple entry accounting framework using blockchain technology // *Blockchain: Research and Applications*, 2021, vol. 2, no. 4, 100037. <https://doi.org/10.1016/j.bcr.2021.100037>
27. Martirosyan A.V., Ilyushin Y.V., Afanaseva O.V. Development of a distributed mathematical model and control system for reducing pollution risk in mineral water aquifer systems // *Water (Switzerland)*, 2022, vol. 14(2). <https://doi.org/10.3390/w14020151>
28. Mindlin Y., Mityashin G., Tikhomirov E. Innovative forms of organization of food provision for low-income and no-income people // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Yekaterinburg, 15th-16th October 2021. Yekaterinburg, 2022, 012125. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/949/1/012125>
29. Otto O.V. Ecological comfort of the urban environment on the example of the city of Barnaul / O. V. Otto, A. G. Redkin, D. D. Esimova // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 2, pp. 282-295. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-2-282-295>
30. Plotnikov V., Nikitin Y., Maramygin M., Ilyasov R. National food security under institutional challenges (Russian experience) // *International Journal of Sociology and Social Policy*, 2021, vol. 41, no. 1-2, pp. 139-153. <https://doi.org/10.1108/IJSSP-03-2020-0074>

31. Sychev Y.A., Aladin M.E., Aleksandrovich S.V. Developing a hybrid filter structure and a control algorithm for hybrid power supply // International Journal of Power Electronics and Drive Systems, 2022, vol. 13(3), pp. 1625-1634. <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v13.i3.pp1625-1634>
32. Voronkova O.Y., Klochko E.N., Vakhrushev I.B., Sergin A.A., Karpenko E.Z., Tavbulatova Z.K. Land resource management in the agro-industrial sector of Russia // International Journal of Pharmaceutical Research, 2020, vol. 12, pp. 2087-2093. <https://doi.org/10.31838/ijpr/2020.SP1.306>
33. Yakovleva A.A., Movchan I.B., Shaygallyamova Z.I. Dynamic response of multi-scale geophysical systems: Waves and practical applications // Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 2022, vol. 380(2237). <https://doi.org/10.1098/rsta.2021.0403>
34. Zakharov K.V., Terehova A.A., Kozlov V.N., Bobkova E.Y., Grogoryants I.A. Problems of nature protection in Moscow // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022, vol. 548, 052031. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/5/052031>

References

1. Baeva A.A. *Obrazovanie i nauka bez granits: sotsial'no-gumanitarnye nauki*, 2017, no. 6, p. 82.
2. Bukhtiyarova T.I., Kutikov V.V. *Organizatsiya ekonomicheskoy bezopasnosti tekushchey predprinimatel'skoy deyatel'nosti: uchebnoe posobie* [Organization of economic security of current entrepreneurial activity]. Barnaul: UrGEU, 2016, p. 97.
3. Vlasova O. V. *Regional'nyy vestnik*, 2020, no. 2, p. 81.
4. V Altayskom krae podveli itogi realizatsii natsional'nogo proekta «Zdravookhranenie» [The results of the implementation of the national project “Healthcare” were summed up in the Altai Territory]. <https://www.altairegion22.ru/projects/novosti-natsproektov/>
5. Diveeva A.A. *Mnogourovnevoe obshchestvennoe vosproizvodstvo: voprosy teorii i praktiki*, 2017, no. 13, p. 101.
6. Data of sociological surveys. <https://vademec.ru/projects/magazines/>
7. Krivenko N.V., Tsvetkov A.I. *Ekonomika regiona*, 2018, no. 3, p. 972.
8. Kotlyar E.V., Pushkareva E.M. *Biznes-obrazovanie v ekonomike znaniy*, 2020, no. 1, p. 58.
9. Kudelich M.I. *Finansovyy zhurnal*, 2019, no. 4, p. 38.
10. Markar'yan E.A., Gerasimenko G.P. *Ekonomicheskii analiz khozyaystvennoy deyatel'nosti: uchebnoe posobie* [Economic analysis of economic activity]. M.: KNORUS, 2019, p. 253.

11. Methodology for calculating indicators of national projects (programs). <https://rosstat.gov.ru/folder/118596>
12. Narbekova K.A. *Ekonomika, sotsiologiya i pravo*, 2016, no. 11, p. 44.
13. On approval of guidelines for ranking projects (programs) and departmental target programs, taking into account the assessment of the achievement of the goals of state programs of the Russian Federation: order of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation of November 15, 2017 No. 607. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_284067/
14. On the organization of project activities in the Government of the Russian Federation: Decree of the Government of the Russian Federation of October 31, 2018 No. 1288 (as amended on June 24, 2021). http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_310151/
15. Official data of the Altai Regional Clinical Center for Maternal and Child Health. <http://akkdb.ru/deyatelnost/diagnostika-i-issledovaniya/>
16. Passport of the national project “Healthcare”: Protocol of the Presidium of the Council under the President of Russia for Strategic Development and National Projects dated December 24, 2018 No. 16. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_319209/
17. Petlakh V.I., Okulov E.A. *Zdravookhraneniye*, 2013, no. 11, p. 63.
18. Development of healthcare in the Altai Territory: State Regional Program of the Altai Territory dated December 26, 2019 No. 541. <https://docs.cntd.ru/document/561674510>
19. Rating of the efficiency of health care in the regions of the Russian Federation. <https://www.vshouz.ru/journal/2021-god/rejting-effektivnosti-sistem-zdravookhraneniya-regionov-rf-v-2019-g/>
20. Ulumbekova G.E., Ginoyan A.B., Kalashnikova A.V. *Vestnik vysshey shkoly organizatsii i upravleniya zdravookhraneniem*, 2017, no. 1, p. 24.
21. Brzakovic M. Human enhancement ethics concerning future biomedical engineering. *Journal of Quality and System Engineering*, 2022, vol. 1, no. 1, pp. 30-35.
22. Doguchaeva S., Zubkova S., Katrashova Yu. Blockchain in public supply chain management: advantages and risks. *Transportation Research Procedia*, 2022, vol. 63, pp. 2178-2178. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.244>
23. Gorbachev V., Klokonos M., Mutallibzoda S., Tefikova S., Orlovtsseva O., Ivanova N., Posnova G., Velina D., Zavalishin I., Khayrullin M., Bobkova E., Kuznetsova E., Vorobeva A., Vorobyev D., Nikitin I. Antiradical Potential of Food Products as a Comprehensive Measure of Their Quality. *Foods*, 2022 Mar 23, vol. 11(7), p. 927. <https://doi.org/10.3390/foods11070927>

24. Korableva O.N., Mityakova V.N., Kalimullina O.V. Designing a decision support system for predicting innovation activity. *Paper presented at the ICEIS 2020 - Proceedings of the 22nd International Conference on Enterprise Information Systems*, 2020, vol. 1, pp. 619-625.
25. Korableva O.N., Gorelov N., Kalimullina O. Contemporary issues of intellectual capital: Bibliographic analysis. *Engineering Assets and Public Infrastructures in the Age of Digitalization*. 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48021-9_51
26. Maiti M., Kotliarov I., Lipatnikov V. A future triple entry accounting framework using blockchain technology. *Blockchain: Research and Applications*, 2021, vol. 2, no. 4, 100037. <https://doi.org/10.1016/j.bera.2021.100037>
27. Martirosyan A.V., Ilyushin Y.V., Afanaseva O.V. Development of a distributed mathematical model and control system for reducing pollution risk in mineral water aquifer systems. *Water (Switzerland)*, 2022, vol. 14(2). <https://doi.org/10.3390/w14020151>
28. Mindlin Y., Mityashin G., Tikhomirov E. Innovative forms of organization of food provision for low-income and no-income people. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Yekaterinburg, 15th-16th October 2021*. Yekaterinburg, 2022, 012125. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/949/1/012125>
29. Otto O.V. Ecological comfort of the urban environment on the example of the city of Barnaul / O. V. Otto, A. G. Redkin, D. D. Esimova. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 2, pp. 282-295. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-2-282-295>
30. Plotnikov V., Nikitin Y., Maramygin M., Ilyasov R. National food security under institutional challenges (Russian experience). *International Journal of Sociology and Social Policy*, 2021, vol. 41, no. 1-2, pp. 139-153. <https://doi.org/10.1108/IJSSP-03-2020-0074>
31. Sychev Y.A., Aladin M.E., Aleksandrovich S.V. Developing a hybrid filter structure and a control algorithm for hybrid power supply. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 2022, vol. 13(3), pp. 1625-1634. <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v13.i3.pp1625-1634>
32. Voronkova O.Y., Klochko E.N., Vakhrushev I.B., Sergin A.A., Karpenko E.Z., Tavbulatova Z.K. Land resource management in the agro-industrial sector of Russia. *International Journal of Pharmaceutical Research*, 2020, vol. 12, pp. 2087-2093. <https://doi.org/10.31838/ijpr/2020.SP1.306>
33. Yakovleva A.A., Movchan I.B., Shaygallyamova Z.I. Dynamic response of multi-scale geophysical systems: Waves and practical applications. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 2022, vol. 380(2237). <https://doi.org/10.1098/rsta.2021.0403>

34. Zakharov K.V., Terehova A.A., Kozlov V.N., Bobkova E.Y., Grogoryants I.A. Problems of nature protection in Moscow. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022, vol. 548, 052031. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/5/052031>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Ваславская Ирина Юрьевна, доктор экономических наук, профессор, кафедра экономики предприятий и организаций Высшей школы экономики и права
Казанский федеральный университет, Набережночелнинский институт
ул. Кремлевская, 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация
vaslavskaya@yandex.ru

Полтарыхин Андрей Леонидович, доктор экономических наук, профессор
Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова
пер. Стремянный, 36, 113054, г. Москва, Российская Федерация
poltarykhin@mail.ru

Колупаев Андрей Анатольевич, кандидат исторических наук, доцент
Юго-Западный государственный университет
50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Российская Федерация
kolupaev79@mail.ru

Воробьева Виктория Георгиевна

Российский университет транспорта, РУТ (МИИТ)
ул. Образцова, 9, стр. 9, г. Москва, 127055, Российская Федерация
9250361917@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Irina Yu. Vaslavskaya, Doctor of Economics, Professor, Department of Economics of Enterprises and Organizations, Higher School of Economics and Law
Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny Institute
18, Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russian Federation
vaslavskaya@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1363-3865>

Andrey L. Poltarykhin, Doctor of Economics, Professor
Plekhanov Russian University of Economics

36, Stremyanny lane, Moscow, 113054, Russian Federation
poltarykhin@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2272-2007>

Andrej A. Kolupaev, Doctor of Economics, Professor
Southwest State University
94, 50 Let Oktyabrya Str., Kursk, 305040, Russian Federation
kolupaev79@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9438-3430>

Viktoria G. Vorobyeva
Russian University of Transport
9, building 9, Obraztsova Str., Moscow, 127055, Russian Federation
9250361917@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9974-635X>

Поступила 20.01.2023

После рецензирования 15.02.2023

Принята 23.02.2023

Received 20.01.2023

Revised 15.02.2023

Accepted 23.02.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-294-307

УДК 616.314-056



Научная статья | Одонтология

РОЛЬ ЭНДОДОНТИИ В ЛЕЧЕНИИ ХРОНИЧЕСКИХ ОДОНТОГЕННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ПРОТЕЗИРОВАНИЮ

Т.Л. Маругина, Д.В. Киприн, А.И. Череватенко

Обоснование. При планировании ортопедического восстановления значительно разрушенных зубов с признаками апикального периодонтита необходимо оценивать сложность анатомии корневых каналов, как один из факторов влияющих на успешное эндодонтическое лечение зубов. Современные подходы в эндодонтии позволяют в большинстве случаев добиться восстановления костной ткани, а также устранения очага хронической инфекции, что позволяет в последующем провести ортопедическое лечение зубов, с целью восстановления их функции и увеличения процента выживаемости в полости рта.

Цель. Повышение эффективности ортопедического восстановления зубов с хронической одонтогенной инфекцией.

Материалы и методы. Проведено лечение 64 пациентов в возрасте от 18 до 45 лет. У всех были клинические признаки хронического воспалительного процесса резцов верхней и нижней челюсти с темным, радиолоцентным очагом в районе апекса, а также значительное разрушение коронковой части зуба, требующее ортопедического восстановления. Оценка рентгенологических показателей проводилась на основе КЛКТ, оценка подвижности проводилась клинически. Результаты оценивали через 6, 12, 24 месяца.

Результаты. В 1 группе выявлено полное восстановление костной ткани и отсутствие патологической подвижности зубов через 24 месяца от начала лечения, во 2 группе в 97,5% случаев полное восстановление костной ткани и устранение патологической подвижности, как подтверждение восстановления функции зуба через 24 месяца от начала лечения.

Заключение. Анализ анатомии корневых каналов, а соответственно и сложности в биомеханической очистке и промывании корневых каналов влияет на принятие решение о проведении лечения в одно или два посещения.

Ключевые слова: эндодонтия; одонтогенная инфекция; ортопедическое восстановление

Для цитирования. Маругина Т.Л., Киприн Д.В., Череватенко А.И. Роль эндодонтии в лечении хронических одонтогенных заболеваний при подготовке к протезированию // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №1. С. 294-XXX. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-294-307

Original article | Odontology

THE ROLE OF ENDODONTICS IN THE TREATMENT OF CHRONIC ODONTOGENIC DISEASES IN PREPARATION FOR PROSTHETICS

T.L. Marugina, D.V. Kiprin, A.I. Cherevatenko

Background. When planning orthopedic restoration of significantly destroyed teeth with signs of apical periodontitis, it is necessary to assess the complexity of root canal anatomy as one of the factors influencing successful endodontic dental treatment. Modern approaches in endodontics allow in most cases to achieve the restoration of bone tissue, as well as the elimination of the focus of chronic infection, which allows for subsequent orthopedic dental treatment in order to restore their function and increase the percentage of survival in the oral cavity.

Purpose. Improving the efficiency of orthopedic restoration of teeth with chronic odontogenic infection.

Materials and methods. 64 patients aged 18 to 45 were examined. All had clinical signs of failed endodontic treatment of the incisors in the upper and lower jaws with a dark, radiolucent focus in the apex region, as well as significant destruction of the crown requiring orthopedic restoration. The assessment of radiographic parameters was based on CBCT, and mobility was assessed clinically. The results were evaluated after 6, 12, and 24 months.

Results. All patients showed different signs of restoration of the bone tissue after 6 and 12 months and complete restoration of the bone tissue 24 months after the treatment. No pathological tooth mobility was found 24 months after the end of treatment in 100% (primary endodontic treatment) and 97.5% (repeated endodontic treatment) of patients.

Conclusion. The analysis of the anatomy of the root canals, and, accordingly, the complexity in biomechanical cleaning and washing of the root canals affects the decision to carry out treatment in one or two visits.

Keywords: *endodontics; apical resorption; mandibular canal*

For citation. *Marugina T.L., Kiprin D.V., Cherevatenko A.I. The Role of Endodontics in the Treatment of Chronic Odontogenic Diseases in Preparation for Prosthetics. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 294-XXX. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-294-307*

На сегодняшний момент осложненный кариес является самой распространенной патологией твердых тканей зубов [2, 15]. Исследования последних лет свидетельствуют об увеличении осложнений кариеса зубов и их высокой распространённости у 45-50% лиц в возрасте от 39 до 44 лет и у 50% пациентов в возрастной группе старше 50 лет воспалительный процесс в верхушечном периодонте является основной причиной удаления зубов и возникновения острых одонтогенных процессов челюстно-лицевой области [16]. В практической стоматологии, на сегодняшний день, к наиболее сложному виду лечения относится эндодонтическое лечение зубов [1]. Сложная анатомия корневых каналов не позволяет со 100% успехом провести как механическую очистку каналов, так и их ирригацию, что вносит коррективы в прогнозирование и успех эндодонтического лечения. Восстановление функции зуба и устранение периапикального процесса возможно только при соблюдении полного соответствия определенным требованиям на всех этапах эндодонтического лечения [11]. Качество обработки корневого канала не значительно зависит от степени расширения корневого канала, так как в 50% зубов с апикальным периодонтитом, инфекция прошла на 2/3 глубины стенок канала, а в некоторых случаях до цементно-дентинного соединения, поэтому только увеличение расширения не улучшит ситуацию в борьбе с инфекцией. Первичная инфекция в основном располагается внутри основного канала, поэтому дентинные трубочки в основном не инфицированы, в то время как вторичная инфекция в основном либо в пропущенных каналах, либо в необработанных участках или дентинных трубочках, это подтверждает факт необходимости как механической очистки, так и грамотной ирригации просвета канала. Полная obturation просвета канала и герметизация апикального отверстия и дополнительных каналов биологически инертным и стабильным материалом является одним из залогов успеха эндодонтического лечения, а от успеха эндодонтического лечения напрямую зависит качество и долговечность последующего ортопедического восстановления зуба [4, 14, 18].

Ученые выяснили, что зубы, которые прошли ранее эндодонтическое лечение, имеют меньший процент выживаемости в полости рта, по срав-

нению с витальными зубами [5]. Это в основном зависит от изменений, которые происходят в зубе после его депульпирования. Потеря жидкости пульпы и жидкости из дентинных трубочек ослабляет зуб, так как жидкость дентинных трубочек и пульпы является амортизационной структурой. Пульпа состоит из соединительной ткани, пронизанной сосудами, соединительная ткань, также пронизывает и дентинные трубочки [6]. Потеря твердых тканей при кариесе или значительных реставрациях и даже создание полости доступа — это потеря прочности зуба. После потери жидкости пульпы зуб теряет свою пластичность, что связано с возникновением вертикальной трещины корня, которая в свою очередь приводит к удалению эндодонтически леченых зубов. Также во время латеральной нагрузки витального зуба имеется незначительная пластическая деформация, полость доступа для эндодонтического лечения увеличивает эту деформацию на 50%. Поэтому можно предположить, что прочность эндодонтически пролеченного зуба прямо пропорциональна оставшемуся здоровому дентину. Прогноз зубов со значительным разрушением и необходимостью в лечении корневых каналов в большей степени зависит не от апикальной obturation, а от коронковой реставрации в области доступа, со стороны которого возможно проникновение жидкости и микроорганизмов из полости рта в зуб, а затем в периапикальные ткани [17, 19, 20].

Цель

Предоставление практических наработок в выборе тактики ведения пациентов с хроническим апикальным периодонтитом при подготовке к протезированию.

Материалы и методы

Для проведения анализа в группах сравнения обследовано 64 пациента в возрасте от 18 до 45 лет, в том числе 36 (57%) женщин и 28 (43%) мужчины с клиническими признаками хронического апикального периодонтита резцов верхней и нижней челюстей с наличием очага воспаления в апикальной части корня по данным КЛКТ и наличием патологической подвижности зубов определяемой клинически в полости рта пациента до начала лечения.

Пациенты были распределены на две группы сравнения, в первую вошли пациенты с первичным лечением корневых каналов зубов и вторую группу, где пациентам проводили процедуру повторной эндодонтии с перелечиванием некачественно obturированных зубов.

Таблица 1.

Распределение пациентов по полу в группах сравнения

| Пол | Группы сравнения | |
|---------|------------------|--------|
| | Первая | Вторая |
| Мужской | 9 | 15 |
| Женский | 14 | 26 |
| Итого: | 23 | 41 |

Для включения пациентов в исследование, они проходили отбор по следующим критериям: возраст от 18 до 45 лет; согласие на лечение; отсутствие сопутствующей патологии в стадии декомпенсации, поливалентной аллергии; наличие хронического апикального периодонтита резца верхней или нижней челюсти с клиническими проявлениями и рентгенологическими признаками воспалительного процесса в апикальной части корня.

Критерием невключения пациентов в исследование являлось несогласие с условиями исследования. Критериями исключения являлись: наличие соматической патологии, такой как: сахарный диабет декомпенсированный, онкологические заболевания, нарушение свертываемости крови.

При проведении исследования, пациентам проводилась биомеханическая подготовка корневых каналов исследуемых зубов, которая включала в себя:

- Механическую обработку инструментами ProFile и PathFile (Dentsply, Швейцария) техникой Crown Down.
- Медикаментозную обработку 3% раствором гипохлорита натрия Гипохлоран-3 (Омега дент, Россия) со звуковой активацией SAF (ReDent Nova); 17% раствором ЭДТА MD-Cleanser (Meta Dental).
- Временная пломба была двухслойная: первый слой – Cimpat N (Septodont), второй слой GS (Fuji IX).

Все пациенты проходили лечение с изоляцией исследуемого зуба системой «OrtiDam» и под контролем операционного микроскопа, obturация проводилась методом латеральной компакции с использованием силера на основе эпоксидной смолы с добавлением макромолекул ABT Sealer.

В первой группе при симптоматическом апикальном периодонтите или при асимптоматическом, но со сложной анатомией (наличие двух и более корневых каналов, в одном корне зуба), лечение проводилось в два посещения, в первое было проведена биомеханическая подготовка корневого канала с активной ирригацией в процессе расширения корневого канала, снятие смазанного слоя после окончания расширения и перед активацией ирриганта, а после внесения временного obturационного материала Каль-

цетин (гидроксид кальция) замешанного на гипохлорите натрия 3% (Омега дент, Россия) сроком на 4 недели. Во второе посещение проводилась медикаментозная обработка с активацией ирриганта и использованием скребущих инструментов SAF (ReDent Nova) для очистки стенок канала от гидроокиси кальция, финишное промывание 17% раствором ЭДТА MD-Cleanser (Meta Dental) для снятия кальция со стенок канала и последующая постоянная obturation.

При асимптоматическом апикальном периодонтите с простой анатомией (наличие одного корневого канала в одном корне зуба) в первой группе лечение проводилось в одно посещение. Сначала была проведена биомеханическая подготовка корневого канала с активной ирригацией в процессе расширения корневого канала, снятие смазанного слоя после окончания расширения и перед активацией ирриганта, активация ирриганта и обильное промывание корневого канала с последующим использованием скребущих инструментов SAF (ReDent Nova) для очистки стенок канала от органики и последующая постоянная obturation.

- После постоянной obturation пациентам было проведено временное ортопедическое восстановление зубов на срок 6 месяцев до проведения первого контроля эффективности эндодонтического лечения.

Оценка качества лечения корневых каналов зубов проводилось во всех группах сравнения в соответствии с директивами Европейского общества эндодонтии (ESE) (European Society of Endodontology, 2006) [12]:

- «успехом» эндодонтического лечения является отсутствие у пациента клинических проявлений воспалительного процесса полости рта, сохранение или восстановление функции зуба, рентгенологически подтвержденное нормальное состояние периодонта, а именно восстановление костной ткани альвеолярного отростка.
- «неполное восстановление» - после проведенного лечения у пациента отмечается отсутствие клинических проявлений хронического воспалительного процесса и рентгенологически подтвержденное уменьшение поражения периодонта.
- «неуспех» - у пациента отмечается отсутствие клинических проявлений хронического воспалительного процесса, однако рентгенологически периодонт в исходной стадии хронического апикального периодонтита.
- «отсутствие выздоровления» - проявление клинических симптомов хронического апикального периодонтита, рентгенологически определяется отсутствие уменьшения очага поражения в периодонте или образование нового воспалительного очага.

Особенностью эндодонтического лечения является невозможность объективного клинического и визуального контроля (течение хронического воспаления корневого канала при неудачном лечении может не вызывать у пациентов каких-либо жалоб и клинических проявлений) и практическом отсутствии лабораторной диагностики, это подтверждает факт необходимости проведения оценки эффективности лечения в различных временных промежутках, а именно через 6, 12, 24 месяца от начала лечения [7-9].

Клиническая оценка подвижности исследуемых зубов проводилась в полости рта пациента с целью оценки восстановления периодонта с помощью шкалы Миллера в модификации Флезара:

0 – устойчивый зуб, имеется только физиологическая подвижность

1 – смещение зуба относительно вертикальной оси несколько больше, но не превышает 1 мм

2 – зуб смещается на 1-2 мм в щечно-язычном направлении, функция не нарушена

3 – подвижность резко выражена, при этом зуб движется не только в щечно-язычном направлении, но и по вертикали, функция его нарушена.

Подвижность оценивали через 6, 12, 24 месяцев после постоянной обтурации.

Оценка рентгенологических показателей костной ткани и качества обтурации проводилась на основе данных КЛКТ. Так как она имеет более высокую информативность в области всех групп зубов. Конусно-лучевая компьютерная томограмма представляет собой современную трёхмерную диагностическую систему визуализации, разработанную специально для использования в области лицевого скелета [10, 13]. Она является методом лучевой диагностики, позволяющим более детально изучить на трехмерном изображении анатомические особенности эндодонта (количество и дизайн корневых каналов, соотношение тканей зуба и окружающих структур. На основании литературных данных установлено, что использование 3Д-изображения для эндодонтических целей в настоящее время является более перспективным по сравнению с 2Д-изображениями зубов [3]. Результаты проведенного лечения оценивали через 6, 12, 24 месяца.

Статистическая обработка данных проводилась с помощью стандартных пакетов Statistics 6.0 в SPSS-11.

Результаты

После проведенного эндодонтического лечения в первой исследуемой группе отмечается полное восстановление костной ткани альвеолярного

отростка и отсутствие клинически определяемой патологической подвижности исследуемых зубов через 24 месяца от начала лечения, в то время как во второй исследуемой группе, 97,5% случаев показали полное восстановление костной ткани и устранение патологической подвижности, как подтверждение восстановления функции зуба через 24 месяца от начала лечения, один случай показывает хорошую динамику и незначительное расширение периодонтальной щели в месте наибольшего изначального поражения костной ткани и наличие первой степени подвижности зуба.

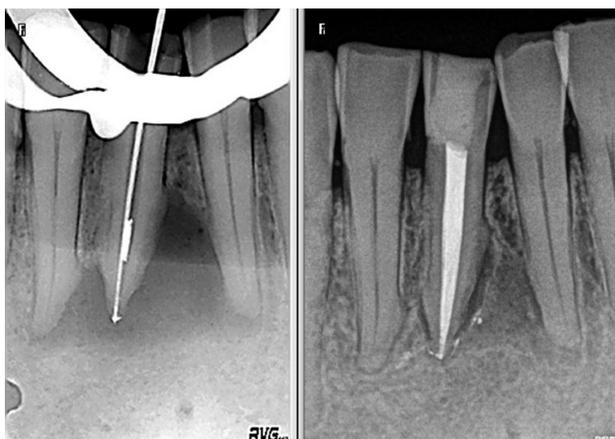


Рис. 1. Пример сравнения данных RVG пациента в первое посещение при лечении 41 зуба и спустя 24 месяца после окончания лечения

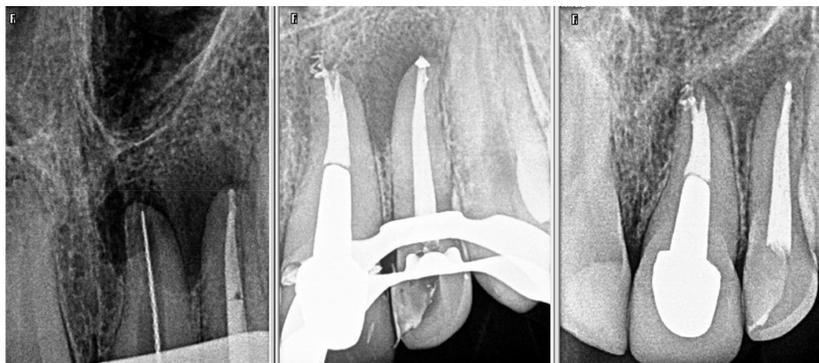


Рис. 2. Пример сравнения данных RVG пациента в первое посещение при лечении 21,22 зубов и спустя 6 месяцев после окончания лечения

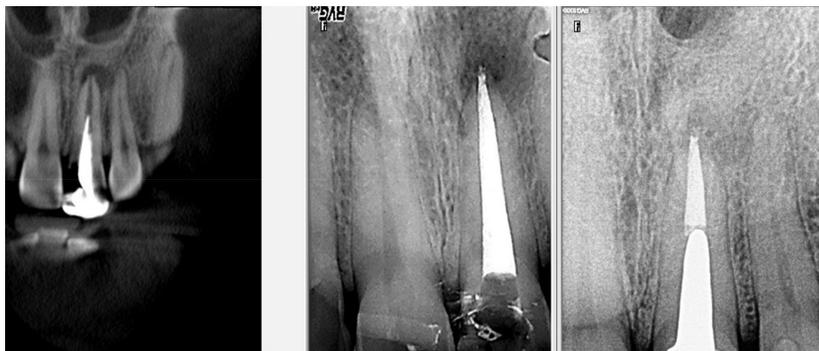


Рис. 3. Пример сравнения данных КТ пациента до начала лечения 21 зуба, RVG сразу после постоянной obturации и спустя 6 месяцев после окончания лечения

Таблица 2.

Результаты проведенного лечения в исследуемой группе №1

| Критерий оценки эффективности проведенного лечения | Время проведения контрольного осмотра | | |
|--|---------------------------------------|------------|-----------|
| | 6 месяцев | 12 месяцев | 24 месяца |
| Успех | 14 (61%) | 22 (96%) | 23 (100%) |
| Неполное выздоровление | 9 (39%) | - | - |
| Неуспех | - | - | - |
| Отсутствие выздоровления | - | - | - |
| Отсутствие патологической подвижности | 17 (74%) | 23(100%) | 23 (100%) |
| 1 степень подвижности | 4 (17%) | | |
| 2 степень подвижности | 2 (9%) | | |

Таблица 3.

Результаты проведенного лечения в исследуемой группе №2

| Критерий оценки эффективности проведенного лечения | Время проведения контрольного осмотра | | |
|--|---------------------------------------|------------|------------|
| | 6 месяцев | 12 месяцев | 24 месяца |
| Успех | 24 (59%) | 37 (90%) | 40 (97,5%) |
| Неполное выздоровление | 11 (26%) | 4 (10%) | 1 (2,5%) |
| Неуспех | 6 (15%) | - | - |
| Отсутствие выздоровления | - | - | - |
| Отсутствии патологической подвижности | 33 (80,5%) | 38 (92,5%) | 40 (97,5%) |
| 1 степень подвижности | 7 (17%) | 3 (7,5%) | 1 (2,5%) |
| 2 степень подвижности | 1 (2,5%) | | |

Заключение

Анализ эффективности проведенного эндодонтического лечения в группах сравнения позволяет сделать следующие выводы:

Анализ анатомии, а соответственно и сложности в биомеханической очистке и промывании корневых каналов влияет на принятие решение о проведении лечения в одно или два посещения. При простой анатомии и асимптоматическом течении воспаления мы можем более прогнозируемо очистить их от органической составляющей, а соответственно нет значительной необходимости в применении внутриканального вложения гидроксида кальция для повышения уровня pH в корневом канале, с целью очистки канала от органики. Необходимым этапом является снятие смазанного слоя после окончания расширения и перед активацией ирриганта для его максимального проникновения в дентинные трубочки и труднодоступные участки.

При сложной анатомии или при симптоматическом течении хронического воспалительного процесса, мы проводим лечение в два посещения, для того чтобы внутриканальное вложение кальция способствовало растворению органики в перешейках и недоступных для механической очистки участках, а также активно используем активацию при ирригации в оба посещения. В первое посещение необходимо применять скребущие инструменты для очистки стенок канала от остатков инфицированного материала и органики, а во второе для максимального очищения стенок канала от гидроокиси кальция. Необходимым этапом является снятие смазанного слоя после окончания расширения и перед активацией ирриганта в первое посещение для его максимального проникновения в дентинные трубочки и труднодоступные участки.

Необходимым условием для проведения лечения является применение операционного дентального микроскопа во время как первого, так и второго посещений для максимального контроля за очисткой корневого канала и последующей obturацией.

Список литературы

1. Байназарова Н.Т. Анализ качества эндодонтического лечения, профилактика осложнений (по данным литературы) // Вестник КазНМУ. 2017. №3. С. 186-189.
2. Глухова Е.А., Межевикина Г.С. Клинико-лабораторное обоснование эффективности эндодонтического лечения // Наука молодых. 2019. Т.7. №2. С. 294-300.
3. Дмитриева Л.А., Максимовский Ю.М. Терапевтическая стоматология: национальное руководство. Москва, ГЭОТАР-Медиа, 2015. 888 с.
4. Клинический опыт терапии хронического апикального периодонтита / Шашмурина В.Р., Купреева И.В., Девликанова Л.И., Лубинская Е.В., Ми-

- шутина О.Л. // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. 2018. Т. 17. №1. С. 160-166.
5. Ковецкая Е.Е., Смоляк Е.С. Эффективность методов восстановления коронковой части зуба после эндодонтического лечения // Современные технологии в медицинском образовании. 2021. С. 1251-1254.
 6. Корневская Н.А. Постэндодонтическая реставрация в стоматологии. Витебск, ВГМУ, 2018. 177 с.
 7. Латышева С.В., Будзейская Т.В. Проблемные вопросы в эндодонтии. Современный взгляд // Современная стоматология. 2015. №2. С. 4-7.
 8. Лобко С.С. Рентенограмма как критерий эффективности лечения зубов // Современная стоматология. 2018. №1. С. 85- 87.
 9. Манак Т.Н. Динамическая оценка эффективности различных протоколов эндодонтического лечения при помощи периапикального индекса // Современная стоматология. 2015. №4. С. 35-39.
 10. Манак Т.Н. Информированность врачей-стоматологов по вопросам современных технологий лечения заболеваний пульпы и апикального периодонта // Стоматологический журнал. 2015. №2, Т. 16. С. 99-104.
 11. Манак Т.Н., Савостикова О.С., Ермаркевич М.И. Современные возможности повторного эндодонтического лечения // Международные обзоры: клиническая практика и здоровье. 2018. №3. С. 36-40.
 12. Показатели качества эндодонтического лечения: Отчет о согласованном мнении Европейского эндодонтического общества // Эндодонтия today. 2008. № 1-2. С. 3-12.
 13. Саврасова Н.А., Мельниченко Ю.М., Кабак С.Л. Применение конусно-лучевой компьютерной томографии в эндодонтии // Стоматологический журнал. 2014. №3. С. 196-202.
 14. Сахарук Н.А., Веретенникова А.А., Зеков Н.И. Оценка ближайших и отдаленных результатов эндодонтического лечения // Вестник ВГМУ. 2015. Т. 14. №5. С.108-113.
 15. Чжоу М. Применение комбинированного силера на основе гидроксида кальция и эпоксидных смол при эндодонтическом лечении осложненного кариеса: Автореф. дис. Кандидата мед. Наук. Воронеж, 2012.
 16. Ball R.Z. Intraoperative Endodontic Applications of Cone-Beam Computed Tomography // Journal of endodontic, 2013, vol. 39, no. 4, pp. 548-557.
 17. Fouad KW. Restoring of endodontically treated tooth. Concepts and techniques // The Saudi Dental Journal, 2014, vol. 16(2), pp. 61-69.
 18. Ingle J.I., Bakland L.K., Endodontics. 4th ed. London, 1994, 944 p.
 19. Juloski J. Ferrule effect: a literature review // J. Endod., 2012, vol. 38(1), pp.11-19.

20. Peroz I. Restoring endodontically treated teeth with posts and cores – a review // *J. Dent.*, 2014, vol.42 (5), pp.582-587.

References

1. Baynazarova N.T. Analiz kachestva endodonticheskogo lecheniya. profilaktika oslozhneniy (po dannym literatury) [Risk factors of periodontal disease in individuals with a bracket system (According to literature)]. *Vestnik KazNMU*, 2017, no. 3, pp.186-189.
2. Glukhova E.A., Mezhevnikina G.S. Kliniko-laboratornoye obosnovaniye effektivnosti endodonticheskogo lecheniya [Clinical and laboratory substantiation of efficiency endodontic treatment]. *Nauka molodykh*, 2019, vol. 7, no. 2, pp. 294-300.
3. Dmitrieva L.A., Maksimovskiy Y.M. *Terapevticheskaya stomatologiya: national'noe rukovodstvo* [Therapeutic dentistry: national guidelines]. Moscow: GEOTAR-Media Publ., 2015, pp. 888.
4. Shashmurina V.R., Kupreeva I.V., Devlikanova L.I., Lubinskaya E.V., Mishutina O.L. Klinicheskiy opyt terapii khronicheskogo apikalnogo periodontita [Clinical experience of chronic apical periodontitis therapy]. *Vestnik Smolenskoj gosudarstvennoy meditsinskoj akademii*, 2018, vol. 17, no. 1, pp. 160-166.
5. Koveckaya E.E., Smolyak E.S. *Sovremennye tekhnologii v medicinskom obra-zovanii*, 2021, pp. 1251-1254.
6. Korenevskaya N.A. *Postendodonticheskaya restavraciya v stomatologii* [Post-endodontic restoration in dentistry]. Vitebsk: VGMU, 2018, 177 p.
7. Latysheva S.V., Budzeuskaya T.V. Problemnnyye voprosy v endodontii. Sovremennyy vzglyad [Problems in endodontics. Modern view]. *Sovremennaya stomatologiya*, 2015, no. 2, pp. 4-7.
8. Lobko S.S. Rentenogramma kak kriteriy effektivnosti lecheniya zubov. [A radiograph serve as criterion of effectiveness endodontically treated teeth]. *Sovremennaya stomatologiya*, 2018, no. 1, pp. 85-87.
9. Manak T.N. Dinamicheskaya otsenka effektivnosti razlichnykh protokolov endodonticheskogo lecheniya pri pomoshchi periapikalnogo indeksa [Dinamic evaluation of different endodontics treatment protocols with using a periapical index]. *Sovremennaya stomatologiya*, 2015, no. 4, pp. 35-39.
10. Manak T.N. Informirovannost vrachey-stomatologov po voprosam sovremennykh tekhnologiy lecheniya zabolevaniy pulpy i apikalnogo periodonta [Awareness of dentists on modern technologies for the treatment of pulp and apical periodontal diseases]. *Stomatologicheskii zhurnal*, 2015, vol. 16, no. 2, pp. 99-104.
11. Manak T.N., Savostikova O.S., Ermarkevich M.I. Sovremennyye vozmozhnosti povtornogo endodonticheskogo lecheniya [Modern possibilities of repeated

- endodontic treatment]. *Mezhdunarodnyye obzory: klinicheskaya praktika i zdorovye*, 2018, no. 3, pp. 36-40.
12. Pokazateli kachestva endodonticheskogo lecheniya: otchet o soglasovanom mnenii Evropejskogo endodonticheskogo obshhestva [Endodontic treatment quality indicators: report on the agreed opinion of the European endodontic society]. *Endodontiya today*, 2008, no.1-2, pp. 3-12.
 13. Savrasova N.A., Mel'nichenko Yu.M., Kabak S.L., Primeneniye konusno-luchevoy kompyuternoy tomografii v endodontii [Application of cone-beam computed tomography in endodontics]. *Stomatologicheskii zhurnal*, 2014, no. 3, pp. 196-202.
 14. Sakharuk N.A., Veretennikova A.A., Zekov N.I. Otsenka blizhayshikh i otdalennykh rezultatov endodonticheskogo lecheniya. [The evaluation of immediate and remote results of endodontic treatment]. *Vestnik VGMU*, 2015, vol. 14, no. 5, pp. 108-113.
 15. Chzhou M. *Primeneniye kombinirovannogo silera na osnove gidrooksida kalt-siya i epoksidnykh smol pri endodonticheskom lechenii oslozhnennogo kariyesa* [Application of a combined Siler based on calcium hydroxide and epoxy resins in the endodontic treatment of complicated caries]. Voronezh, 2012.
 16. Ball R.Z. Intraoperative Endodontic Applications of Cone-Beam Computed Tomography. *Journal of endodontic*, 2013, vol. 39, no. 4, pp. 548-557.
 17. Fouad KW. Restoring of endodontically treated tooth. Concepts and techniques. *The Saudi Dental Journal*, 2014, vol. 16(2), pp.61-69.
 18. Ingle J.I., Bakland L.K., *Endodontics*. 4th ed. London, 1994, 944 p.
 19. Juloski J. Ferrule effect: a literature review. *J. Endod.*, 2012, vol. 38(1), pp.11-19.
 20. Peroz I. Restoring endodontically treated teeth with posts and cores – a review. *J. Dent.*, 2014, vol. 42 (5), pp.582-587.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Маругина Татьяна Леонидовна, к.м.н., доцент кафедры-клиники хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии
Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого
ул. Партизана Железняка, 1, г. Красноярск, 660022, Российская Федерация
Tatyana.marugina@mail.ru

Киприн Дмитрий Владимирович, к.м.н., доцент, заведующий кафедрой-клиникой ортопедической стоматологии.
Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого

ул. Партизана Железняка, 1, г. Красноярск, 660022, Российская Федерация

E-mail: d_kiprin@mail.ru

Череватенко Анна Игоревна, врач-стоматолог

Центр эстетической медицины «Реновацио»

ул. Весны, 7Д, г. Красноярск, 660077, Российская Федерация

AnnaCherevatenko@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Tatyana L. Marugina, PhD, Associate Professor of the Department-Clinic of

Surgical Dentistry and Maxillofacial Surgery

Krasnoyarsk State Medical University named after V.F. Voyno-Yasenetsky

1, Partizana Zheleznyaka Str., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation

Tatyana.marugina@mail.ru

SPIN-code: 2676-9915

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2320-6530>

ResearcherID: AAG-8243-2020

Dmitry V. Kiprin, Associate Professor, PhD, Head of the Department-Clinic of Orthopedic Dentistry

Krasnoyarsk State Medical University named after V.F. Voyno-Yasenetsky

1, Partizana Zheleznyaka Str., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation

d_kiprin@mail.ru

SPIN-code: 6608-9007

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6274-668X>

ResearcherID: A-9467-2016

Scopus Author ID: 57214999952

Anna I. Cherevatenko, Dentist

'Renovacio' Center for Aesthetic Medicine

7D, Vesna Str., Krasnoyarsk, 660077, Russian Federation

AnnaCherevatenko@mail.ru

SPIN-code: 2757-3219

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4390-3651>

ResearcherID: AAG-8200-2020

Поступила 25.07.2022

После рецензирования 10.09.2022

Принята 26.09.2022

Received 25.07.2022

Revised 10.09.2022

Accepted 26.09.2022

ВНУТРЕННИЕ БОЛЕЗНИ

INTERNAL MEDICINE

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-308-326

УДК 616-037: 612.112.7:616-039:616.98:[579.834.114:578.833.29]



Научная статья | Клиническая медицина

**ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГЕМОГРАММЫ
ДЛЯ РАННЕГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ
МИКСТ-ИНФЕКЦИИ ЭРИТЕМНОЙ ФОРМЫ
ИКСОДОВОГО КЛЕЩЕВОГО БОРРЕЛИОЗА
И КЛЕЩЕВОГО ЭНЦЕФАЛИТА**

Е.Н. Ильинских, Е.Н. Филатова, А.В. Решетова

Обоснование. Верификация диагноза микст-инфекции эритемной формы иксодового клещевого боррелиоза с клещевым энцефалитом может быть затруднена в начале заболевания из-за запоздалой сероконверсии.

Цель. Поиск предикторов гемограммы для разработки модели ранней диагностики микст-инфекции эритемной формы иксодового клещевого боррелиоза с клещевым энцефалитом.

Материалы и методы. В исследовании принимали участие 21 больной микст-инфекцией эритемной формы боррелиоза и клещевого энцефалита (группа 1) и 25 пациентов с эритемной формой моноинфекции боррелиоза (группа 2), госпитализированных не позднее 7 дня заболевания. Проанализированы показатели гемограммы, лейкоцитарный индекс интоксикации по Я.Я. Кальф-Калифу и индекс резистентности организма. Применялся ROC-анализ. Модель логистической регрессии разработана с помощью модулей STATISTICA 12.0.

Результаты. У больных в группе 1 по сравнению с группой 2 уровни таких показателей как лейкоцитарный индекс интоксикации, нейтрофилы были существенно повышены, а уровни индекса резистентности организма, эозинофилов, базофилов и тромбоцитов оказались, напротив, значительно снижены. Предиктором развития микст-инфекции «очень хорошего» качества

был лейкоцитарный индекс интоксикации, а «хорошее» прогностическое значение имели индекс резистентности организма, число эозинофилов, базофилов, нейтрофилов и тромбоцитов. Модель раннего прогноза микст-инфекции включала индекс резистентности организма, число эозинофилов и базофилов.

Заключение. Разработанная модель позволяет с высокой вероятностью прогнозировать микст-инфекцию эритемной формы боррелиоза с клещевым энцефалитом до лабораторной верификации диагноза.

Ключевые слова: логистическая регрессия; эритемная форма; иксодовый клещевой боррелиоз; клещевой энцефалит; микст-инфекция; гемограмма

Для цитирования. Ильинских Е.Н., Филатова Е.Н., Решетова А.В. Оценка показателей гемограммы для раннего прогнозирования развития микст-инфекции эритемной формы иксодового клещевого боррелиоза и клещевого энцефалита // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №1. С. 308-326. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-308-326

Original article | Clinical Medicine

HEMOGRAM INDICATORS ASSESSMENT FOR EARLY PREDICTING THE MIXED INFECTION OF THE ERYTHEMA MIGRANS FORM OF LYME BORRELIOSIS AND TICK-BORNE ENCEPHALITIS

E.N. Ilyinskikh, E.N. Filatova, A.V. Reshetova

Background. It is difficult to confirm the diagnosis of the mixed infection of the erythema migrans form of Lyme borreliosis and tick-borne encephalitis at the onset of the disease because of delayed seroconversion.

Purpose. Assessment of hemogram predictors to develop a model for early diagnosis of the mixed infection of the erythema form of Lyme borreliosis and tick-borne encephalitis.

Materials and methods. The study involved 21 patients with the mixed infection of the erythema form of Lyme borreliosis and tick-borne encephalitis (Group 1) and 25 patients with the erythema form of borreliosis mono-infection (Group 2), who were hospitalized no later than the 7th day of the disease. The hemogram parameters, the leukocyte intoxication index and the body resistance index were analyzed. ROC analysis was used. The logistic regression model was developed using STATISTICA 12.0 modules.

Results. *The Group 1 patients compared with Group 2 demonstrated significant increases in the levels of the leukocyte intoxication index, and neutrophils, but decreases in the levels of the body resistance index, eosinophils, basophils and platelets. The leukocyte intoxication index was a “very good” predictor of the mixed infection, and the body resistance index, the number of eosinophils, basophils, neutrophils and platelets in peripheral blood had a “good” predictive values. The model included the body resistance index, the number of eosinophils and basophils.*

Conclusion. *The developed model had a “very good” predictive value for the mixed infection early diagnosis of the erythema migrans form of Lyme borreliosis and tick-borne encephalitis.*

Keywords: *logistic regression; erythema migrans; Lyme borreliosis; tick-borne encephalitis; mixed infection; hemogram*

For citation. *Ilyinskikh E.N., Filatova E.N., Reshetova A.V. Hemogram indicators assessment for early predicting the mixed infection of the erythema migrans form of Lyme borreliosis and tick-borne encephalitis. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 308-326. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-308-326*

Введение

Иксодовые клещевые боррелиозы (ИКБ) и клещевой энцефалит (КЭ) являются наиболее распространенными инфекционными заболеваниями, передающимися клещами на территории Российской Федерации, которые часто протекают в виде смешанной инфекции. Несмотря на то, что в последние годы наметилась общероссийская тенденция к снижению заболеваемости ИКБ и КЭ, Томская область, как и весь Сибирский федеральный округ, на протяжении многих лет по-прежнему лидирует по уровню заболеваемости [1, 14, 17].

Показано, что в раннюю локализованную стадию эритемной формы (ЭФ) ИКБ противоборрелиозные антитела выявляются только у 20-50% больных [22]. Поэтому при постановке диагноза ЭФ ИКБ в основном приходится опираться на данные эпидемиологического анамнеза о присасывании клеща и на обнаружение мигрирующей эритемы, являющейся патогномичным симптомом, который позволяет подтвердить заболевание в отсутствие положительных результатов серологических тестов [16].

Вместе с тем, известно, что верификация диагноза микст-инфекции ЭФ ИКБ с КЭ может быть затруднена в начале заболевания вследствие того, что специфические антитела к вирусу КЭ к концу второй недели болезни выявляются только у 55-60% больных, а у остальных пациентов в диагностически значимых титрах регистрируются лишь спустя 3 недели от начала болезни [2].

Известно, что одним из эффективных подходов, позволяющих прогнозировать течение и исходы болезни является поиск предикторов и создание прогностических моделей. В проведенном ранее нами исследовании и в работах других авторов этот метод использовался для прогнозирования исходов, клинической формы или тяжести течения таких инфекций как клещевой энцефалит [6], болезнь Лайма [21], лихорадка денге [20] и новая коронавирусная инфекция COVID-19 [19].

Изменения показателей общеклинического анализа крови больных ЭФ моноинфекции ИКБ были описаны в публикациях нескольких авторов [3, 5, 11]. В тоже время, крайне мало данных об особенностях гемограммы у больных микст-инфекцией ИКБ и КЭ [8].

Цель исследования: поиск предикторов показателей общеклинического анализа крови и лейкоцитарных индексов для разработки модели ранней диагностики микст-инфекции ЭФ ИКБ с КЭ в первую неделю заболевания.

Материалы и методы

Клиническое исследование включало 46 больных моно- и микст-инфекцией ИКБ и КЭ, госпитализированных в инфекционную клинику Сибирского государственного медицинского университета (СибГМУ) Минздрава России в период с 2009 по 2022 гг..

В исследование были включены больные, госпитализированные не позднее 7 дня от начала заболевания. Клиническая картина микст-инфекции соответствовала согласно классификации наиболее распространенному сочетанию ЭФ ранней локализованной стадии ИКБ и лихорадочной формы (ЛФ) КЭ легкой или средней степени тяжести без признаков поражения нервной системы [10]. Известно, что сочетание ЭФ ИКБ и ЛФ КЭ встречается в 18% всех случаев микст-инфекции, что существенно чаще чем смешанная инфекция этой формы ИКБ с менингеальной или очаговой формами КЭ (3,1% и 1,3% соответственно) [12].

Среди 21 больного группы 1 с микст-инфекцией ЭФ ИКБ с КЭ было 13 (61,9%) мужчин и 8 (38,1%) женщин. В составе группы 2 с моноинфекцией ЭФ ИКБ было 25 больных, включая 13 (52,0%) мужчин и 12 (48,0 %) женщин. Средний возраст больных микст-инфекцией ЭФ ИКБ с КЭ был $40,7 \pm 4,0$ лет ($36,1 \pm 5,7$ лет мужчины и $48,3 \pm 4,0$ лет женщины). Средний возраст больных моноинфекцией ЭФ ИКБ составил $48,4 \pm 2,1$ лет ($45,4 \pm 2,6$ лет мужчины и $51,6 \pm 1,7$ лет женщины).

Диагноз ЭФ ИКБ у всех больных был подтвержден на основании обнаружения мигрирующей эритемы на месте присасывания клеща, а также

с помощью метода твердофазного иммуноферментного анализа (ИФА) с определением IgM и IgG к *Borrelia burgdorferi s. l.* Кровь на исследование бралась в динамике в день поступления пациента в стационар, спустя 21 день и через 3 мес. от момента начала заболевания с применением тест-систем АО «Вектор-Бест» («ЛаймБест-IgM» и «ЛаймБест-IgG», Россия). Исследование сыворотки крови на антиген вируса, а также на IgM и IgG к вирусу КЭ проводилось при госпитализации, а также в динамике через 10-14 дней и 21 день с использованием тест-систем АО «Вектор-Бест» («ВектоВКЭ-антиген», «ВектоВКЭ-IgM» и «ВектоВКЭ-IgG», Россия).

Критериями включения в исследование для групп пациентов были возраст от 20 до 65 лет, поступление в стационар в срок не позднее 7 дня от начала заболевания, мигрирующая эритема в месте присасывания клеща, обнаружение иммуноглобулинов IgM к *Borrelia burgdorferi s.l.* методом ИФА в крови пациента с инфекцией ИКБ, а также антигена вируса КЭ и иммуноглобулинов IgM к вирусу КЭ в диагностических титрах в крови больного в случае микст-инфекции ИКБ и КЭ.

Критериями исключения были отказ больного от участия в исследовании, беременность или лактация, сопутствующие инфекции (острый и хронический описторхоз, хронические вирусные гепатиты В и С, туберкулез и т.д.), а также онкологическая, аутоиммунная патология или тяжелое течение сердечно-сосудистых и эндокринных заболеваний (ишемической болезни сердца, гипертонической болезни, сахарного диабета и др.). Диагноз хронического или острого описторхоза был исключен на основе негативных результатов копроовоскопических исследований, ИФА анализов специфических иммуноглобулинов IgM и IgG к антигенам *Opisthorchis felineus* в сыворотке крови, а также базируясь на отсутствии биохимических и ультрасонографических признаков холангиохолецистита и эпидемиологических данных о регулярном употреблении речной рыбы.

Мы проанализировали 14 показателей общеклинического анализа крови: тромбоциты ($\times 10^9/\text{л}$), эритроциты ($\times 10^{12}/\text{л}$), гемоглобин (г/л), лейкоциты ($\times 10^9/\text{л}$), миелоциты (%), юные (%), палочкоядерные нейтрофилы (%), сегментоядерные нейтрофилы (%), эозинофилы (%), базофилы (%), плазматические клетки (%), лимфоциты (%), моноциты (%) и скорость оседания эритроцитов (СОЭ, мм/ч). Кроме того, для оценки реакции лейкоцитов на эндогенную интоксикацию рассчитывали лейкоцитарные индексы: лейкоцитарный индекс интоксикации (ЛИИ) по Я.Я. Кальф-Калифу и индекс резистентности организма (ИРО) [13, 15]. Известно, что нормативная величина ЛИИ по Я.Я. Кальф-Калифу варьирует от 0,62 до 1,6 усл. ед. [13,

15]. Интервалы значений ЛИИ равные 1,9-3,7 усл. ед., 3,8-4,8 и выше 5,8 усл. ед. соответствуют легкой, средней и тяжелой степени интоксикации [13, 15]. Показатель ИРО учитывает возраст пациента, число лейкоцитов в крови и включает результат расчета ЛИИ по Я.Я. Кальф-Калифу. Значения ИРО выше 100 усл. ед. соответствуют легкой степени интоксикации, в пределах от 50 до 100 усл. ед. говорят о средней степени тяжести заболевания, а ниже 50 усл. ед. свидетельствуют о тяжелом течении заболевания [13].

Выборка историй болезни формировалась с применением таблицы случайных чисел. Предварительно рассчитывался размер случайной выборки [9, с. 309]. Количественные данные проверяли на соответствие нормальному закону распределения с помощью критерия Колмогорова–Смирнова. Для определения статистической значимости различий независимых выборок количественных переменных применяли t-критерий Стьюдента в случае нормального распределения данных. В противном случае использовали непараметрический U-критерий Манна – Уитни [9, с. 130]. Для оценки статистической значимости различий качественных переменных между группами 1 и 2 использовали непараметрический критерий значимости гипотезы «хи-квадрат» (χ^2) с поправкой Йейтса [9, с. 138]. Данные были представлены как отношение шансов (ОШ) и 95% доверительные интервалы (95 %ДИ) или $M \pm m$, где M - выборочное среднее, а m - стандартная ошибка. Статистически значимыми считались двусторонние значения $p < 0,05$. Разработка и оценка качества моделей бинарной логистической регрессии проводилось с помощью модулей программного обеспечения STATISTICA 12.0 (StatSoft, США) [4, с. 405, 23]. Значимость коэффициентов регрессии оценивалась с использованием статистики Вальда. Оценка прогностической значимости предикторов и модели логистической регрессии в целом проводилось с помощью ROC-анализа (от англ. receiver operating characteristic, рабочая характеристика приемника) и вычисления AUC (от англ. area under ROC curve) – площади под ROC-кривой с использованием оптимальных порогов отсеечения COV (от англ. cut-off value) [18]. Учитывались показатели со «средним» ($AUC > 0,6$), «хорошим» ($AUC > 0,7$), «очень хорошим» ($AUC > 0,8$) и «отличным» качеством прогнозирования ($AUC > 0,9$).

Результаты исследования и их обсуждение

В таблице 1 проанализированы различия средних значений показателей общеклинического анализа крови, ИРО и ЛИИ по Я.Я. Кальф-Калифу между группами больных микст-инфекцией ЭФ ИКБ с ЛФ КЭ (группа 1) и пациентов с моноинфекцией ЭФ ИКБ (группа 2).

Таблица 1.

Результаты общеклинического анализа крови и лейкоцитарных индексов у больных микст-инфекцией эритемной формы иксодового клещевого боррелиоза с клещевым энцефалитом и у пациентов с моноинфекцией эритемной формы иксодового клещевого боррелиоза

| Показатели | Группы больных | | p |
|---------------------------------|------------------|------------------|--------|
| | Группа 1 n=21 | Группа 2 n=25 | |
| ЛИИ, усл. ед | 2,39±0,39 | 0,84±0,11 | <0,001 |
| ИРО, усл. ед. | 93,14±15,64 | 155,72±11,74 | 0,002 |
| Лейкоциты, ×10 ⁹ /л | 7,50±1,31 | 5,84±0,40 | 0,20 |
| Палочкоядерные нейтрофилы, % | 2,67±0,24 | 1,32±0,15 | <0,001 |
| Сегментоядерные нейтрофилы, % | 60,61±3,10 | 50,58±2,02 | 0,008 |
| Эозинофилы, % | 1,73±0,37 | 3,16±0,24 | 0,002 |
| Базофилы, % | 0,27±0,096 | 0,63±0,048 | <0,001 |
| Лимфоциты, % | 27,08±3,34 | 35,25±4,16 | 0,070 |
| Моноциты, % | 7,62±0,74 | 9,00±0,85 | 0,11 |
| СОЭ, мм/ч | 13,95±0,92 | 11,36±1,49 | 0,16 |
| Тромбоциты, ×10 ⁹ /л | 210,43±10,09 | 264,92±10,85 | <0,001 |

Примечание: данные представлены как $M \pm m$, где M – выборочное среднее, m – стандартная ошибка; ЛИИ – лейкоцитарный индекс интоксикации по Я.Я. Кальф-Калифу; ИРО – индекс резистентности организма; группа 1 – больные микст-инфекцией эритемной формы иксодового клещевого боррелиоза и лихорадочной формы клещевого энцефалита; группа 2 – больные моноинфекцией эритемной формы иксодового клещевого боррелиоза; n – численность групп; p – значимость различий значений показателя между группами 1 и 2.

Установлено, что уровни эритроцитов и гемоглобина, рассчитанные отдельно для мужчин и женщин, не имели статистически значимых различий между группами 1 и 2 ($p > 0,05$). Средние уровни эритроцитов у мужчин в группах 1 и 2 составили $4,73 \pm 0,061 \times 10^{12}/л$ против $4,76 \pm 0,13 \times 10^{12}/л$ при $p = 0,85$, а гемоглобина – $151,86 \pm 2,09$ г/л против $146,45 \pm 4,56$ г/л при $p = 0,20$ соответственно. Средние значения этих показателей в группах больных микст- и моноинфекцией у женщин были равны $3,38 \pm 0,19 \times 10^{12}/л$ против $4,29 \pm 0,11 \times 10^{12}/л$ при $p = 0,08$ и $122,01 \pm 5,39$ г/л против $131,42 \pm 1,55$ г/л, $p = 0,069$ соответственно.

В результате статистического анализа показано, что средние значения таких показателей как ЛИИ ($p < 0,001$), палочкоядерные и сегментоядерные нейтрофилы ($p < 0,001$ и $p = 0,008$) у пациентов с микст-инфекцией ЭФ

ИКБ с КЭ были значительно выше, чем у больных моноинфекцией ЭФ ИКБ. Однако, больные микст-инфекцией ЭФ ИКБ с КЭ имели существенно более низкие уровни ИРО ($p=0,002$), эозинофилов ($p=0,002$), базофилов ($p<0,001$) и тромбоцитов ($p<0,001$) по сравнению с соответствующими средними значениями у больных группе 2 с моноинфекцией ЭФ ИКБ.

По данным литературы известно, что для микст-инфекцией ИКБ с КЭ характерен умеренный нейтрофильный лейкоцитоз [8]. Кроме того, известно, что пациенты с ЭФ моноинфекции ИКБ в период разгара заболевания имеют статистически значимое увеличение относительного количества эозинофилов по сравнению с больными безэритемной формой (БЭФ) ИКБ, что, по-видимому, является отражением воспалительного процесса в области мигрирующей эритемы [3]. Уровни тромбоцитов у больных ЭФ моноинфекции ИКБ в начальной стадии заболевания существенно снижены, а относительное число палочкоядерных нейтрофилов, напротив, значительно повышено, по сравнению со средними значениями этих показателей в период реконвалесценции [3, 5]. Более того, в первую неделю болезни уровни ЛИИ по Я.Я. Кальф-Калифу у больных ЭФ моноинфекции ИКБ были достоверно выше, чем у больных БЭФ ИКБ и у здорового контроля [11]. Полученные нами данные свидетельствовали о том, что только у 2 (8,0%) больных в группе с ЭФ моноинфекции ИКБ лейкоцитарные индексы ЛИИ и ИРО выходили за пределы нормальных значений, в то время как в группе с микст-инфекцией ИКБ и КЭ у 10 (47,62%) пациентов значения этих показателей соответствовали легкой или средней степени интоксикации.

В таблице 2 приведены результаты оценки качества прогноза развития микст-инфекции ЭФ ИКБ с КЭ при определенных значениях оптимальных порогов отсечения COV показателей общеклинического анализа крови, а также ЛИИ по Я.Я. Кальф-Калифу и ИРО.

Установлено, что в начальном периоде болезни «очень хорошее» качество прогноза развития микст-инфекции ЭФ ИКБ с КЭ имел показатель ЛИИ по Я.Я. Кальф-Калифу ($AUC=0,86$ при $COV>1,50$ усл. ед.), а «хорошее» качество прогноза имели ИРО ($AUC=0,76$ при $COV<119,0$ усл. ед.), палочкоядерные ($AUC=0,71$ при $COV>1,30\%$) и сегментоядерные ($AUC=0,70$ при $COV>57,50\%$) нейтрофилы, эозинофилы ($AUC=0,74$ при $COV<2,1\%$), базофилы ($AUC=0,78$ при $COV<0,40\%$) и тромбоциты ($AUC=0,77$ при $COV<228,0\times 10^9/л$).

Для построения модели логистической регрессии вышеперечисленные признаки были добавлены в модуль программы STATISTICA 12.0.

Таблица 2.

Информативность предикторов общеклинического анализа крови и лейкоцитарных индексов для разработки модели логистической регрессии ранней диагностики микст-инфекции эритемной формы иксодового клещевого боррелиоза с клещевым энцефалитом

| Предикторы, COV | Частота в группах больных, абс. (%) | | ОШ (95 % ДИ) | χ^2 | AUC |
|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------|--------------------|--------------|------|
| | Группа 1 n=21 | Группа 2 n=25 | | | |
| ЛИИ, >1,50 усл. ед. | 10 (47,62) | 2 (8,00) | 10,45 (1,95-56,07) | 7,35 p=0,007 | 0,86 |
| ИРО, <119,0 усл. ед. | 13 (61,90) | 4 (16,00) | 8,53 (2,13-34,09) | 8,45 p=0,004 | 0,76 |
| Нейтрофилы палочкоядерные, >1,30% | 17 (80,95) | 10 (40,00) | 6,38 (1,65-24,63) | 6,29 p=0,012 | 0,71 |
| Нейтрофилы сегментоядерные, >57,50% | 11 (52,38) | 6 (24,00) | 3,48 (0,99-12,22) | 3,95 p=0,046 | 0,70 |
| Эозинофилы, <2,10% | 12 (57,14) | 6 (24,00) | 4,22 (1,19-14,89) | 5,26 p=0,022 | 0,74 |
| Базофилы, <0,40% | 15 (71,43) | 5 (23,81) | 8,00 (2,01-31,80) | 9,55 p=0,002 | 0,78 |
| Тромбоциты, <228,0×10 ⁹ /л | 12 (57,14) | 5 (20,00) | 5,33 (1,44-19,70) | 6,76 p=0,010 | 0,77 |

Примечание: n – численность групп; ОШ - отношение шансов; 95% ДИ - 95% доверительный интервал; χ^2 – критерий значимости гипотезы «хи-квадрат»; COV (от англ. cut-off value) оптимальный порог отсеечения; AUC - (от англ. area under ROC curve) площадь под ROC кривой; p - значимость различий показателя между группами 1 и 2.

В результате была создана модель, имеющая «очень хорошее» качество прогноза микст-инфекции ЭФ ИКБ с КЭ (AUC=0,87±0,010) в первую неделю болезни до получения лабораторной верификации диагноза, которая включала три переменные: ИРО (в усл. ед.), относительное количество эозинофилов (%) и базофилов (%). Константа α была равна 5,36±1,83 (p=0,003), а вычисленные коэффициенты регрессии имели следующие значения: β_1 (ИРО, усл. ед.) был равен -0,015±0,007 (p=0,034); β_2 (эозинофилы, %) составил -0,91±0,38 (p=0,018); β_3 (базофилы, %) равнялся -3,06±1,25 (p=0,014).

Прогнозируемую вероятность P(X) микст-инфекции ЭФ ИКБ и КЭ можно рассчитать помощью формулы бинарной логистической регрессии:

$$P(X) = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

где $z = 5,36 + (-0,015) \times X_1 + (-0,91) \times X_2 + (-3,06) \times X_3$, e – число Эйлера $\approx 2,71828$, а X_1 , X_2 и X_3 значения переменных ИРО (усл. ед.), эозинофилы (%) и базофилы (%) соответственно. Например, если ИРО равен 119,0 усл. ед., относительное число эозинофилов составит 2,1%, а уровень базофилов – 0,4 %, то прогнозируемая вероятность $P(X)$ микст-инфекции ИКБ с КЭ будет равна 0,61. Если больной имеет значения ИРО, эозинофилов и базофилов равные 100,0 усл. ед., 1,5 % и 0,20 % соответственно, то прогнозируемая вероятность смешанной инфекции будет очень высокой ($P(X)=0,87$).

По данным литературы, известно, что через 2 недели после начала заболевания противоборрелиозные антитела выявляются только у 21% больных ЭФ моноинфекции ИКБ и у 8,8% пациентов с микст-инфекцией ИКБ и КЭ [2]. К 21 дню болезни специфические антитела были выявлены приблизительно у 50% больных ЭФ ИКБ и у 13-19% пациентов со смешанной инфекцией ИКБ и КЭ. Спустя 1,5 мес. диагноз ЭФ моноинфекции ИКБ и микст-инфекции ИКБ и КЭ был подтвержден серологически ещё у приблизительно 25% больных. В остальных случаях диагноз ЭФ ИКБ был поставлен только на основании обнаружения патогномичного симптома – мигрирующей эритемы [2].

Одним из подходов, с помощью которого могут быть преодолены эти диагностические трудности, является поиск информативных предикторов и разработка прогностических моделей. В.Н. Skogman с соавт. [21] на основе оценки таких клинических предикторов как слабость, лихорадка, остро развившийся парез лицевого нерва, мигрирующая эритема, лимфоцитоз и плейоцитоз в спинномозговой жидкости, была разработана анкета в баллах, позволяющая определить высокий риск развития нейроборрелиоза у детей.

В период реконвалесценции ЭФ моноинфекции ИКБ «очень хорошее» и «отличное» качество прогноза исхода в хроническое течение заболевания имели такие показатели как интерлейкин (ИЛ)-8, сиаловые кислоты, α_2 -глобулины и серомукоид [7]. Наиболее информативным показателем для прогноза хронизации ЭФ ИКБ оказался уровень ИЛ-8 в сыворотке крови [7].

Вместе с тем, хотелось бы подчеркнуть, что разработанная нами модель имеет ограничения в использовании и применима только для больных с легкой и средней степенью тяжести микст-инфекции ЭФ ИКБ с ЛФ КЭ без признаков поражения нервной системы, а также не может быть исполь-

зована у детей и подростков, поскольку модель не была протестирована в этих возрастных группах.

Заключение

В результате анализа прогностической значимости показателей лейкоцитарных индексов и общеклинического анализа крови установлено, что предикторами ранней диагностики микст-инфекции ЭФ ИКБ с КЭ, имеющими «очень хороший» прогноз, является ЛИИ по Я.Я. Кальф-Калифу ($AUC=0,86$), а «хороший» прогноз – индекс резистентности организма ($AUC=0,76$), относительное число эозинофилов ($AUC=0,74$), базофилов ($AUC=0,78$), палочкоядерных и сегментоядерных ($AUC=0,71$ и $AUC=0,70$) нейтрофилов и абсолютный уровень тромбоцитов ($AUC=0,77$) в периферической крови. На основании полученных данных разработана модель логистической регрессии с включением трех переменных: ИРО (в усл. ед.), относительное количество эозинофилов (%) и базофилов (%), позволяющая с высокой вероятностью ($AUC=0,87$) дифференцировать микст-инфекцию ЭФ ИКБ с ЛФ КЭ от ЭФ моноинфекции ИКБ в первую неделю болезни до лабораторной верификации диагноза.

Заключение комитета по этике. Исследование было одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России (протоколы № 7939 от 21.10.2019 г. и № 9119/1 от 30.05.2022 г.).

Conclusion of the ethics committee. The study was approved by the local ethics committee of the Siberian State Medical University (protocols No. 7939 dated October 21, 2019 and No. 9119/1 dated May 30, 2022).

Информированное согласие. Письменное информированное согласие было получено от всех пациентов, участвовавших в исследовании, в соответствии с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации.

Informed consent. Written informed consent was obtained from all patients participating in the study, in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki of the World Medical Association.

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

Conflict of interest information. The authors declare that there is no conflict of interest.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-15-20010, <https://rscf.ru/project/22-15-20010/> и средств Администрации Томской области

Sponsorship information. The study was supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 22-15-20010, <https://rscf.ru/project/22-15-20010/> and the Tomsk Region Administration.

Список литературы

1. Анализ эпидемиологической ситуации по клещевому энцефалиту и иксодовому клещевому боррелиозу в Томской области / Полторацкая Н.В., Полторацкая Т.Н., Панкина Т.М., Шихин А.В., Сизова Н.Н., Дейнеко О.Ю. // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. 2021. № 1. С. 9-15. <https://doi.org/10.33092/0025-8326mp2021.1.9-15>
2. Андропова Н.В., Миноранская Н.С., Миноранская Е.И. Специфический иммунный ответ и некоторые отдаленные результаты при остром течении иксодового клещевого боррелиоза и микст-инфекции клещевого энцефалита и иксодового клещевого боррелиоза // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). 2011. Т. 100, № 1. С. 54-57.
3. Бондаренко А.Л., Сапожникова В.В. Анализ клинико-эпидемиологических, лабораторных показателей и цитокинового статуса у пациентов с эритемной и безэритемной формами иксодового клещевого боррелиоза // Инфекционные болезни. 2018. Т. 16, № 2. С. 34-42. <https://doi.org/10.20953/1729-9225-2018-2-34-42>.
4. Боровиков В.П., Боровиков И.П. STATISTICA® – Статистический анализ и обработка данных в среде Windows®. М.: Информационно-издательский дом «Филинъ», 1998. 608 с.
5. Иксодовый клещевой боррелиоз: клинико-лабораторные особенности / Мурзабаева Р.Т., Шарифуллина Л.Д., Мавзютов А.Р., Гильманов А.Ж., Валишин Д.А., Мавзютова Г.А. // Клиническая лабораторная диагностика. 2018. Т. 63, № 11. С. 711-716. <http://dx.doi.org/10.18821/0869-2084-2018-63-11-711-716>
6. Ильинских Е.Н., Ильинских Н.Н., Замятина Е.В. Клинические прогностические критерии очаговой формы острого клещевого энцефалита // В мире научных открытий. 2018. Т. 10, № 4. С. 51-71. <https://doi.org/10.12731/wsd-2018-4-51-71>
7. Клинико-лабораторные предикторы прогноза исходов иксодовых клещевых боррелиозов / Миноранская Н.С., Сарап П.В., Андропова Н.В., Миноранская Е.И. // Вестник РАМН. 2015. Т. 70, № 3. С. 378-385. <https://doi.org/10.15690/vramn.v70i3.1337>

8. Клиническая характеристика клещевого энцефалита при его сочетании с Лайм-боррелиозом / Амосов М.Л., Лесняк О.М., Образцова, Мельников В.Г., Бардина Т.Г., Андреева Е.А. // Вопросы вирусологии. 2000. Т. 45, № 3. С. 25-28.
9. Лакин Г.Ф. Биометрия: учебное пособие. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
10. Микст-инфекция клещевого энцефалита и иксодовых клещевых боррелиозов / Бондаренко А.Л., Зыкова И.В., Аббасова С.В., Тихомолова Е.Г., Нехорошкина Е.Л. // Инфекционные болезни. 2011. Т. 9, № 4. С. 54-63.
11. Миноранская Н.С. Клиническое течение и адаптационные реакции при остром течении иксодовых клещевых боррелиозов в Красноярском крае // Инфекционные болезни. 2014. Т. 12, № 1. С. 39-44.
12. Миноранская Н.С., Миноранская Е.И. Клинико-эпидемиологическая характеристика микст-инфекции клещевого боррелиоза и клещевого энцефалита в Красноярском крае // Казанский медицинский журнал. 2013. Т. 94, № 2. С. 211-215. <https://kazanmedjournal.ru/kazanmedj/article/view/1591/1208> (дата обращения: 25.06.2022)
13. Мордык А.В., Батищева Т.Л., Пузырева Л.В. Диагностические индексы крови как критерий оценки эффективности лечения инфильтративного туберкулеза легких у впервые выявленных социально сохранных больных // Поликлиника. 2015. № 2-1. С. 36-39.
14. Обзор эпидемиологической ситуации по иксодовым клещевым боррелиозам в Российской Федерации в 2010-2020 гг. и прогноз на 2021 г. / Рудакова С.А., Пеньевская Н.А., Блох А.И., Рудаков Н.В., Транквилевский Д.В., Савельев Д.А., Теслова О.Е., Канешова Н.Е. // Проблемы особо опасных инфекций. 2021. № 2. С. 52-61. <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2021-2-52-61>
15. Показатели крови и лейкоцитарного индекса интоксикации в оценке тяжести и определении прогноза при воспалительных, гнойных и гнойно-деструктивных заболеваниях / Островский В.К., Машенко А.В., Янголенко Д.В., Макаров С.В. // Клиническая лабораторная диагностика. 2006. № 6. С. 50-53.
16. Субботин А.В., Семенов В.А., Этенко Д.А. Проблема современных смешанных нейроинфекций, передающихся иксодовыми клещами // Архив внутренней медицины. 2012. № 2 (4). С. 35-39.
17. Тимонин А.В., Широкоступ С.В. Ретроспективный анализ заболеваемости клещевым энцефалитом в Сибирском федеральном округе // Universum: медицина и фармакология. 2021. № 11(82). С. 19-20. <https://doi.org/10.32743/UniMed.2021.82.11.12408>
18. Hoo Z.H., Candlish J., Teare D. What is an ROC curve? // Emerg Med J., 2017, vol. 34, no. 6. Pp. 357-359. <https://doi.org/10.1136/emmermed-2017-206735>

19. Proposed scoring system for evaluating clinico-radiological severity of COVID-19 using plain chest X-ray (CXR) changes (CO X-RADS): Preliminary results / De Sanctis V., Bedair E.M.A., Soliman A.T., Nair A.P., Al Masalamani M.A., Yassin M. // *Acta Biomed.*, 2020, vol. 91, no. 4, pp. e2020172. <https://doi.org/10.23750/abm.v91i4.10664>
20. Sensitivity and specificity of a novel classifier for the early diagnosis of dengue / Tuan N.M., Nhan H.T., Chau N.V., Hung N.T., Tuan H.M., Tram T.V., Ha Nle D., Loi P., Quang H.K., Kien D.T., Hubbard S., Chau T.N., Wills B., Wolbers M., Simmons C.P. // *PLoS Negl Trop Dis.*, 2015, vol. 9, no. 4, pp. e0003638. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0003638>
21. Skogman B.H., Sjöwall J., Lindgren P.E. The NeBoP score – a clinical prediction test for evaluation of children with Lyme neuroborreliosis in Europe // *BMC Pediatr.*, 2015, no.15, pp. 214. <https://doi.org/10.1186/s12887-015-0537-y>
22. The diagnostic accuracy of serological tests for Lyme borreliosis in Europe: a systematic review and meta-analysis / Leeflang M.M., Ang C.W., Berkhout J., Bijlmer H.A., Van Bortel W., Brandenburg A.H., Van Burgel N.D., Van Dam A.P., Dessau R.B., Fingerle V., Hovius J.W., Jaulhac B., Meijer B., Van Pelt W., Schellekens J.F., Spijker R., Stelma F.F., Stanek G., Verduyn-Lunel F., Zeller H., Sprong H. // *BMC Infect Dis.*, 2016, vol. 16, pp. 140. <https://doi.org/10.1186/s12879-016-1468-4>
23. Tolles J., Meurer W.J. Logistic Regression: relating patient characteristics to outcomes // *JAMA*, 2016, vol. 316, no. 5. pp. 533-534. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.7653>

References

1. Poltoratskaya N.V., Poltoratskaya T.N., Pankina T.M., Shikhin A.V., Sizova N.N., Deyneko O.Yu. Analiz epidemiologicheskoy situatsii po kleshchevomu entsefalitu i iksodovomu kleshchevomu borreliozu v Tomskoy oblasti [Analysis of the epidemiological situation on tick-borne encephalitis and ixodid tick-borne borreliosis in the Tomsk region]. *Meditsinskaya parazitologiya i parazitarnye bolezni*, 2021, no. 1, pp. 9-15. <https://doi.org/10.33092/0025-8326mp2021.1.9-15>
2. Andronova N.V., Minoranskaya N.S., Minoranskaya E.I. Spetsificheskii immunnyy otvet i nekotorye otdalennyye rezul'taty pri ostrom techenii iksodovogo kleshchevogo borreliozia i mikst-infektsii kleshchevogo entsefalita i iksodovogo kleshchevogo borreliozia [The specific immune response and some remote results in the acute course of tick-borne borreliosis and mixed-infection of tick-borne encephalitis and tick-borne borreliosis]. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal*

- (*Irkutsk*), 2011, vol. 100, no. 1. pp. 54-57. <https://smj.ismu.baikal.ru/index.php/osn/issue/view/53/2011-1> (accessed June 25, 2022)
3. Bondarenko A.L., Sapozhnikova V.V. Analiz kliniko-epidemiologicheskikh, laboratornykh pokazateley i tsitokinovogo statusa u patsientov s eritemnoy i bezeritemnoy formami iksodovogo kleshchevogo borrelioz [Analysis of clinical-epidemiological, laboratory parameters and cytokine status in patients with erythematous and non-erythematous forms of ixodes tick borreliosis]. *Infektsionnye bolezni*, 2018, vol. 16, no. 2, pp. 34-42. <https://doi.org/10.20953/1729-9225-2018-2-34-42>
 4. Borovikov V.P., Borovikov I.P. *STATISTICA® – Statisticheskii analiz i obrabotka dannykh v srede Windows®* [STATISTICA® – Statistical analysis and data processing in the Windows® environment]. Moscow: Filin Publ., 1998, 608 p.
 5. Murzabaeva R.T., Sharifullina L.D., Mavzyutov A.R., Gil'manov A.Zh., Valishin D.A., Mavzyutova G.A. Iksodovyy kleshchevoy borrelioz: kliniko-laboratornye osobennosti [Ixodic tick-borne borreliosis: clinical and laboratory features]. *Russian Clinical Laboratory Diagnostics*, 2018, vol. 63, no. 11, pp. 711-716. <http://dx.doi.org/10.18821/0869-2084-2018-63-11-711-716>
 6. Ilyinskikh E.N., Ilyinskikh N.N., Zamyatina E.V. Klinicheskie prognosticheskie kriterii ochagovoy formy ostrogo kleshchevogo entsefalita [Clinical predictional criteria for encephalitic form of acute tick-borne encephalitis]. *In the World of Scientific Discoveries, Series A*. 2018. vol. 10. no. 4. pp. 51-71. <https://doi.org/10.12731/wsd-2018-4-51-71>
 7. Minoranskaya N.S., Sarap P.V., Andronova N.V., Minoranskaya E.I. Kliniko-laboratornye prediktory prognoza iskhodov iksodovykh kleshchevykh borreliozov [Clinical and laboratory predictors for forecasting the outcomes of ixodes tick-borne borreliosis]. *Vestnik RAMN*, 2015, vol. 70, no. 3, pp. 378–385. <https://doi.org/10.15690/vramn.v70i3.1337>
 8. Amosov M.L., Lesnyak O.M., Obratsova, Mel'nikov V.G., Bardina T.G., Andreeva E.A. Klinicheskaya kharakteristika kleshchevogo entsefalita pri ego sochetanii s Laym-borreliozom [Clinical characteristics of tick-borne encephalitis in combination with Lyme borreliosis]. *Problems of Virology*, 2000, vol. 45, no. 3, pp. 25-28.
 9. Lakin G.F. *Biometriya: uchebnoe posobie* [Biometrics: study guide]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 1990, 352 p.
 10. Bondarenko A.L., Zykova I.V., Abbasova S.V., Tikhomolova E.G., Nekhoroshkina E.L. Mikst-infektsiya kleshchevogo entsefalita i iksodovykh kleshchevykh borreliozov [Mixed infection of tick-borne encephalitis and ixodes tick-borne borrelioses]. *Infektsionnye bolezni*, 2011, vol. 9, no. 4. pp. 54-63.

11. Minoranskaya N.S. Klinicheskoe techenie i adaptatsionnye reaktsii pri ostrom techenii iksodovykh kleshchevykh borreliozov v Krasnoyarskom krae [The clinical course and adaptation reactions in acute ixodes tick-borne borrelioses in the Krasnoyarsk region]. *Infektsionnye bolezni*, 2014, vol. 12, no. 1, pp. 39-44.
12. Minoranskaya N.S., Minoranskaya E.I. Kliniko-epidemiologicheskaya kharakteristika mikst-infektsii kleshchevogo borreliozia i kleshchevogo entsefalita v Krasnoyarskom krae [Clinical and epidemiologic characteristics of Lyme borreliosis and tick-borne encephalitis mixed infection in Krasnoyarsk kray]. *Kazanskiy meditsinskiy zhurnal*, 2013, vol. 94, no. 2. pp. 211-215. <https://kazanmedjournal.ru/kazanmedj/article/view/1591/1208> (accessed June 25, 2022)
13. Mordyk A.V., Batishcheva T.L., Puzyreva L.V. Diagnosticheskie indeksy krovi kak kriteriy otsenki effektivnosti lecheniya infil'trativnogo tuberkuleza legkikh u vpervye vyyavlennykh sotsial'no sokhrannykh bol'nykh [Diagnostic blood indices as a criterion for evaluating the efficacy of treatment of infiltrative pulmonary tuberculosis in newly diagnosed socially adapted patients]. *Poliklinika*, 2015, no. 2-1, pp. 36-39.
14. Rudakova S.A., Pen'evskaya N.A., Blokh A.I., Rudakov N.V., Trankvilevsky D.V., Savel'ev D.A., Teslova O.E., Kaneshova N.E. Obzor epidemiologicheskoy situatsii po iksodovym kleshchevym borreliozam v Rossiyskoy Federatsii v 2010-2020 gg. i prognoz na 2021 g [Review of the epidemiological situation on ixodic tick-borne borreliosis in the Russian Federation in 2010-2020 and prognosis for 2021]. *Problemy osobo opasnykh infektsiy*, 2021, no. 2, pp. 52-61. <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2021-2-52-61>
15. Ostrovskiy V.K., Mashchenko A.V., Yangolenko D.V., Makarov S.V. Pokazateli krovi i leykotsitarnogo indeksa intoksikatsii v otsenke tyazhesti i opredelenii prognoza pri vospalitel'nykh, gnoynykh i gnoyno-destruktivnykh zabolevaniyakh [The parameters of blood and leukocytic intoxication index in the evaluation of the severity of inflammatory, purulent, and pyodestructive diseases]. *Russian Clinical Laboratory Diagnostics*, 2006, no. 6, pp. 50-53.
16. Subbotin A.V., Semenov V.A., Etenko D.A. Problema sovremennykh smeshannykh neyroinfektsiy, peredayushchikhhsya iksodovymi kleshchami [The problem of modern mixed neuroinfections transmitted by ixodid ticks]. *Arkhiv vnutrenney meditsiny*, 2012, no. 2 (4), pp. 35-39.
17. Timonin A.V., Shirokostup S.V. Retrospektivnyy analiz zabolevaemosti kleshchevym entsefalitom v Sibirskom federal'nom okruge [Retrospective analysis of the incidence of tick-borne encephalitis in the Siberian federal district]. *Universum: meditsina i farmakologiya*, 2021, no. 11(82), pp. 19-20. <https://doi.org/10.32743/UniMed.2021.82.11.12408>

18. Hoo Z.H., Candlish J., Teare D. What is an ROC curve? *Emerg Med J.*, 2017, vol. 34, no. 6. pp. 357-359. <https://doi.org/10.1136/emermed-2017-206735>
19. De Sanctis V., Bedair E.M.A., Soliman A.T., Nair A.P., Al Masalamani M.A., Yassin M. Proposed scoring system for evaluating clinico-radiological severity of COVID-19 using plain chest X-ray (CXR) changes (CO X-RADS): Preliminary results. *Acta Biomed.*, 2020, vol. 91, no. 4, pp. e2020172. <https://doi.org/10.23750/abm.v91i4.10664>
20. Tuan N.M., Nhan H.T., Chau N.V., Hung N.T., Tuan H.M., Tram T.V., Ha Nle D., Loi P., Quang H.K., Kien D.T., Hubbard S., Chau T.N., Wills B., Wolbers M., Simmons C.P. Sensitivity and specificity of a novel classifier for the early diagnosis of dengue. *PLoS Negl. Trop. Dis.*, 2015, vol. 9, no. 4, pp. e0003638. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0003638>
21. Skogman B.H., Sjöwall J., Lindgren P.E. The NeBoP score – a clinical prediction test for evaluation of children with Lyme neuroborreliosis in Europe. *BMC Pediatr.*, 2015, no.15, pp. 214. <https://doi.org/10.1186/s12887-015-0537-y>
22. Leeftang M.M., Ang C.W., Berkhout J., Bijlmer H.A., Van Bortel W., Brandenburg A.H., Van Burgel N.D., Van Dam A.P., Dessau R.B., Fingerle V., Hovius J.W., Jaulhac B., Meijer B., Van Pelt W., Schellekens J.F., Spijker R., Stelma F.F., Stanek G., Verduyn-Lunel F., Zeller H., Sprong H. The diagnostic accuracy of serological tests for Lyme borreliosis in Europe: a systematic review and meta-analysis. *BMC Infect Dis.*, 2016, vol. 16, pp. 140. <https://doi.org/10.1186/s12879-016-1468-4>.
23. Tolles J., Meurer W.J. Logistic Regression: relating patient characteristics to outcomes. *JAMA*, 2016, vol. 316, no. 5, pp. 533-534. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.7653>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДААННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Ильинских Екатерина Николаевна, д-р мед. наук, доцент, профессор кафедры инфекционных болезней и эпидемиологии
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный

*медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
Московский тракт, 2, г. Томск, 634050, Российская Федерация
infconf2009@mail.ru*

Филатова Евгения Николаевна, аспирант кафедры инфекционных болезней и эпидемиологии

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

*Московский тракт, 2, г. Томск, 634050, Российская Федерация
synamber@mail.ru*

Решетова Алина Васильевна, ассистент кафедры инфекционных болезней и эпидемиологии

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

*Московский тракт, 2, г. Томск, 634050, Российская Федерация
wind_of_change95@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Ekaterina N. Ilyinskikh, Dr. Sc. (Medicine), Docent, Professor of the Division of Infectious Diseases and Epidemiology

Siberian State Medical University

2, Moskovsky trakt, Tomsk, 634050, Russian Federation

infconf2009@mail.ru

SPIN-code: 5245-5958

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7646-6905>

ResearcherID: P-1653-2016

Scopus Author ID: 6602611268

Evgenia N. Filatova, Postgraduate student of the Division of Infectious Diseases and Epidemiology

Siberian State Medical University

2, Moskovsky trakt, Tomsk, 634050, Russian Federation

synamber@mail.ru

SPIN-code: 8094-3417

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9951-8632>

ResearcherID: AEQ-2635-2022

Alina V. Reshetova, Assistant of the Division of Infectious Diseases and Epidemiology

Siberian State Medical University

Moskovsky trakt, 2, Tomsk, 634050, Russian Federation

wind_of_change95@mail.ru

SPIN-code: 2690-1166

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5195-3897>

ResearcherID: ACK-7745-2022

Поступила 02.07.2022

После рецензирования 09.08.2022

Принята 15.08.2022

Received 02.07.2022

Revised 09.08.2022

Accepted 15.08.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-327-345

УДК 616.89-008.454-06:616-008.9



Научная статья | Клиническая медицина

АФФЕКТИВНЫЕ РАССТРОЙСТВА У МУЖЧИН, ИМЕЮЩИХ ХРОНИЧЕСКУЮ ИШЕМИЧЕСКУЮ БОЛЕЗНЬ СЕРДЦА В СОЧЕТАНИИ С МЕТАБОЛИЧЕСКИМ СИНДРОМОМ

Р.А. Яскевич, О.Л. Москаленко

Цель. Изучение особенностей аффективных расстройств у мужчин при коморбидном течении хронической ишемической болезни сердца (ХИБС) с метаболическим синдромом (МС).

Материалы и методы. Исследование выполнено с участием 115 пациентов мужского пола, имеющим диагноз ХИБС. Верификация МС осуществлялась с использованием клинических рекомендаций Всероссийского научного общества кардиологов (2009). Выявление наличия тревожно-депрессивных состояний и оценку степени их тяжести проводили, используя The Hospital Anxiety and Depression scale.

Результаты. Исследование показало, что среди мужчин с ХИБС, имеющих МС медиана усреднённого балла тревоги по шкале HADS была значимо выше ($p=0,041$) в сравнении с лицами без МС. У 17,6% обследуемых пациентов, имеющих сочетание ХИБС и МС, были выявлены повышенные уровни тревоги. Тревожные расстройства, носившие субклинически выраженный характер, встречались у 13,7% обследованных этой группы, а клинически выраженный характер – у 3,9%. Повышенные уровни депрессии выявлены у 17,6% обследуемых пациентов с МС. При этом депрессивные расстройства как субклинически выраженного характера, так и клинически выраженного встречались с одинаковой частотой: 7,8% vs 7,8%.

Заключение. Среди пациентов с ХИБС при коморбидном течении с МС количество лиц, имеющих клинически выраженную тревогу и депрессию, было выше в сравнении с лицами без МС. У мужчин, имеющих ХИБС в сочетании с МС как с повышенными уровнями тревоги, так и повышенные уровни депрессии, чаще выявлялись 3-х и 4-х компонентные кластеры МС, включающие АГ, АО и различные дислипидемии.

Ключевые слова: метаболический синдром; хроническая ишемическая болезнь сердца; тревога; депрессия

Для цитирования. Яскевич Р.А., Москаленко О.Л. Аффективные расстройства у мужчин, имеющих хроническую ишемическую болезнь сердца в сочетании с метаболическим синдромом // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №1. С. 327-345. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-327-345

Original article | Clinical Medicine

AFFECTIVE DISORDERS IN MEN WITH ARTERIAL HYPERTENSION IN COMBINATION WITH METABOLIC SYNDROME

R.A. Yaskevich, O.L. Moskalenko

Purpose. To study the features of affective disorders in men with comorbid chronic coronary heart disease with metabolic syndrome.

Materials and methods. The study was performed with the participation of 115 male patients diagnosed with chronic coronary heart disease. Metabolic syndrome verification was carried out using the clinical recommendations of the All-Russian Scientific Society of Cardiology (2009). Identification of the presence of anxiety-depressive states and assessment of their severity was carried out using The Hospital Anxiety and Depression scale.

Results. The study showed that among men with chronic coronary heart disease who have metabolic syndrome, the median averaged anxiety score on the Hospital Anxiety and Depression scale was significantly higher ($p=0,041$) compared to those without metabolic syndrome. In 17,6% of the examined patients with a combination of chronic coronary heart disease and metabolic syndrome, elevated levels of anxiety were detected. Anxiety disorders of a subclinically pronounced nature were found in 13,7% of the surveyed in this group, and clinically pronounced in 3,9%. Elevated levels of depression were detected in 17,6% of the examined patients with metabolic syndrome. At the same time, depressive disorders of both subclinically expressed and clinically expressed nature were detected with the same frequency: 7,8% vs 7,8%.

Conclusion. Among patients with chronic coronary heart disease with a comorbid course with metabolic syndrome, the number of people with clinically pronounced anxiety and depression was higher compared to those without metabolic

syndrome. In men with chronic coronary heart disease in combination with metabolic syndrome with both increased levels of anxiety and increased levels of depression, 3- and 4-component clusters of metabolic syndrome, including arterial hypertension, abdominal obesity and various dyslipidemias, were more often detected.

Keywords: *metabolic syndrome; chronic ischemic heart disease; anxiety; depression*

For citation. *Yaskevich R.A., Moskalenko O.L. Affective Disorders in Men with Arterial Hypertension in Combination with Metabolic Syndrome. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 327-345. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-327-345*

Введение

Проблема аффективных расстройств - важная проблема современного здравоохранения [2, 3, 18, 31], которая затрагивает более 260 млн. населения на земном шаре [20]. Результаты исследований последних лет повышают степень доказательства взаимосвязи между аффективными расстройствами с артериальной гипертонией (АГ), инсультом, сахарным диабетом (СД) и метаболическим синдромом (МС) [10, 11, 16, 20, 28]. Было установлено, что даже с поправкой на традиционные факторы риска при МС чаще встречаются тревожно-депрессивные состояния, чем в общей популяции [23, 27, 30, 32, 33].

Понятие метаболический синдрома (МС) объединяет группу факторов сердечно-сосудистого риска, таких как абдоминальное ожирение (АО) гипергликемия, высокое кровяное давление и дислипидемия, поражающих около четверти взрослого населения мира и имеющих неблагоприятные последствия для его здоровья [26]. Помимо своей высокой распространенности среди населения экономически развитых стран, МС считается серьезной проблемой общественного здравоохранения из-за его сильной взаимосвязи с сердечно-сосудистыми заболеваниями и сахарным диабетом [25, 26], которые являются основными причинами высокой заболеваемости и смертности во всем мире [34]. А поскольку МС и аффективные расстройства создают существенные проблемы для общественного здравоохранения [2, 3, 31] в настоящее время внимание многих исследователей привлекает взаимосвязь между этими двумя состояниями [1, 5, 8, 9, 12, 27, 30, 33].

Имеющиеся в настоящее время клинические и экспериментальные данные убедительно свидетельствуют о наличии множественных психофизических связей, объясняющих высокую вероятность формирования МС у лиц с

аффективными расстройствами [1, 5, 12, 22, 28, 30, 32]. Рядом исследователей отмечена двунаправленная ассоциация между МС и депрессивными состояниями [6, 30, 32]. С одной стороны, наличие депрессии предрасполагает к формированию МС у соматически здоровых пациентов, а с другой – лица с МС чаще страдают депрессией [28]. Потенциальные механизмы, которые могли бы объяснить связь между депрессией и риском развития МС, включают патофизиологические, генетические и поведенческие аспекты [7, 8, 9, 15, 31]. Пациенты, страдающие депрессией, более чувствительны к вредным привычкам, например курению, малоподвижному образу жизни, высокому потреблению продуктов с высокой энергетической плотностью и алкоголю [18, 24]. Поэтому лицам с уже диагностированным МС, в свою очередь, необходимо проводить психологическое обследование (скрининг) для выявления сопутствующих тревожно-депрессивных состояний [28, 32].

Цель исследования

Изучение особенностей аффективных расстройств у мужчин при коморбидном течении хронической ишемической болезни сердца (ХИБС) с метаболическим синдромом (МС).

Материалы и методы

Исследование выполнено с участием 115 пациентов мужского пола, находившихся на стационарном лечении в клинике НИИ медицинских проблем Севера г. Красноярск с диагнозом ХИБС. Основную группу составили пациенты с ХИБС в сочетании с МС – 67 человек (медиана возраста – 63,0 [58,0;69,0] лет). В группу сравнения вошли мужчины с ХИБС, не имеющие МС – 48 человек (медиана возраста – 65,0 [59,0;74,0] лет) ($U=1416$; $Z=1,1$; $p=0,276$).

Проведенное исследование соответствовало этическим принципам Хельсинской Декларации, касающихся медицинских исследований с участием человека в качестве их субъекта. Мужчины с ХИБС, принявшие участие в данном исследовании, все давали письменное информированное согласие.

Диагноз ХИБС устанавливался при наличии соответствующих жалоб и анамнестических данных, результатов тредмил-теста или велоэргометрической пробы [3]. Верификация МС осуществлялась с использованием клинических рекомендаций Всероссийского научного общества кардиологов (ВНОК, 2009) [14]. Выявление наличия тревожно-депрессивных состояний и оценку степени их тяжести проводили, используя The Hospital Anxiety and Depression scale – (HADS) [35].

Статистическая обработка осуществлялась при применении программы Statistica 6.0. от 31.03.2010 г. № EXXR202F256520FAN10. Нормальность распределения определялась для небольших выборок на основе критерия Shapiro-Wilk и для больших выборок на основе критерия Колмогорова-Смирнова с поправкой Lilliefors. Характеристика вариационных рядов для качественных признаков с непараметрическим распределением представлена в виде относительной частоты (%), для количественных признаков – медианой (Me) и межквартильным интервалом $[Q_1; Q_3]$. При парных сравнениях независимых выборок непараметрических данных применялся критерий Mann-Whitney (U-test). Критический уровень статистической значимости принимали при $p < 0,05$. Оценка сравнения бинарных качественных признаков проводилась с использованием критерия χ^2 (Chi-Square) Пирсона с учетом степеней свободы df.

Результаты и обсуждение

Исследование показало, что среди мужчин с ХИБС, имеющих МС медиана усреднённого балла тревоги равнялась 6,0 [4,0;7,0] баллам, среди мужчин без МС – 4,0 [3,0;7,0] баллам ($U=848$; $Z=2,0$; $p=0,041$) соответственно. При изучении индивидуальной выраженности тревожных расстройств среди обследованных пациентов с ХИБС было показано, что у 17,6% обследуемых пациентов, имеющих сочетание ХИБС и МС, были выявлены повышенные уровни тревоги. Тревожные расстройства, носившие субклинически выраженный характер, встречались у 13,7% обследованных этой группы, а клинически выраженный характер – у 3,9% (рис.1).

У 20,5% обследуемых пациентов, не имеющих сочетание ХИБС и МС, были выявлены повышенные уровни тревоги. Тревожные расстройства, имеющие субклинически выраженный характер, встречались у 18,2% обследованных этой группы, а клинически выраженный характер – у 2,3%. Среди пациентов обеих групп значимо чаще встречались лица с уровнями тревоги, соответствующими норме (рис. 1).

При сравнительном анализе пациентов с ХИБС, имеющих МС и без МС установлено, что среди мужчин без МС частота тревоги в целом превышала аналогичный показатель у мужчин с МС: 20,5% vs 17,6% ($\chi^2=0,12$ df=1, $p=0,728$) (рис.1). При этом количество мужчин с МС, имеющих клинически выраженную тревогу, было выше в сравнении с лицами без МС: 3,9% vs 2,3% ($\chi^2=0,21$, df=1, $p=0,647$). Полученные различия статистической значимости не имели.

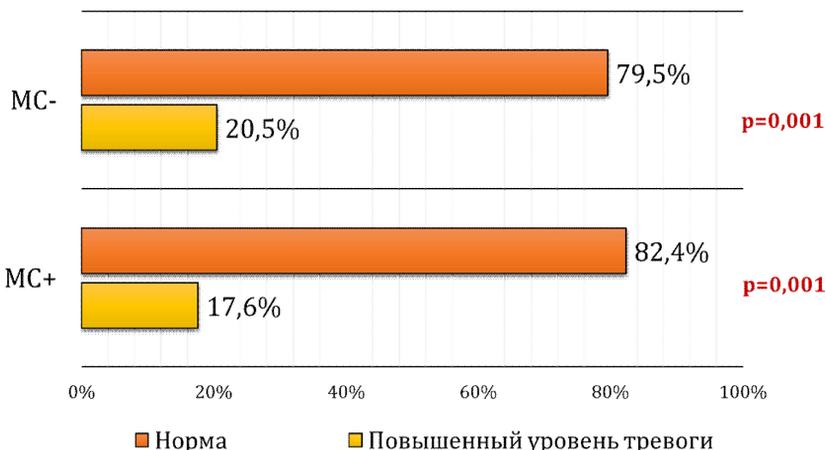


Рис. 1. Частота повышенного уровня тревоги у мужчин при коморбидном течении хронической ишемической болезни сердца с метаболическим синдромом



Рис. 2. Частота повышенного уровня депрессии у мужчин при коморбидном течении хронической ишемической болезни сердца с метаболическим синдромом

Среди мужчин с ХИБС, имеющих МС медиана усреднённого балла депрессии равнялась 5,0 [2,0;6,0] баллам, среди мужчин без МС – 4,5 [2,0;7,0] баллам ($U=1118$; $Z=-0,0$; $p=0,976$) соответственно. При изучении индивидуальной выраженности депрессивных расстройств среди обследованных пациентов с ХИБС было показано, что у 15,6% обследуемых па-

циентов, имеющих сочетание ХИБС и МС, были выявлены повышенные уровни депрессии. При этом депрессивные расстройства как субклинически выраженного характера, так и клинически выраженного выявлялись с одинаковой частотой: 7,8% vs 7,8% (рис. 2).

У пациентов, не имеющих МС, симптомы депрессии различной степени выраженности отмечались у 20,5%, при этом у 15,9% обследованных этой группы они носили субклинически выраженный характер, а клинически выраженный характер у 4,6%. Среди пациентов обеих групп значимо чаще встречались лица с уровнями тревоги, соответствующими норме (рис. 2).

Установлено, что среди пациентов без МС частота депрессии в целом превышала аналогичный показатель у мужчин с МС: 20,5% vs 15,6% ($\chi^2=0,37$, $df=1$, $p=0,546$). При этом количество мужчин с МС, имеющих клинически выраженную депрессию, было в два раза выше в сравнении с лицами без МС: 7,8% vs 4,5% ($\chi^2=0,43$, $df=1$, $p=0,510$). Выявленные различия статистической значимости не имели.

Несмотря на то, что в ходе проведенного исследования частота повышенного уровня тревоги (20,5% vs 17,6) и депрессии (20,5% vs 15,6%) среди мужчин с ХИБС без МС была несколько выше, частота клинически выраженной тревоги (3,9% vs 2,3%) и депрессии (7,8% vs 4,6%) была выше среди пациентов с МС. Похожие закономерности были отмечены и в проведенном ранее нами исследовании среди мужчин с АГ, где частота указанных аффективных расстройств была также выше у лиц с МС [17].

Далее был проведен анализ зависимости показателей тревоги и депрессии от количества компонентов МС (рис. 3-4).

Было установлено, что самым частым кластером МС среди пациентов с ХИБС с повышенным уровнем тревоги был четырёхкомпонентный кластер – 66,7% (рис. 3). Среди мужчин, имеющих повышенный уровень тревоги, частота 4-х компонентного кластера МС была значимо выше в сравнении с мужчинами с нормальными показателями тревоги: 66,7% vs 31,0% ($\chi^2=4,04$, $df=1$, $p=0,044$).

Количественный анализ компонентов МС у мужчин в зависимости от уровня депрессии показал, что самыми частыми кластерами МС среди пациентов с ХИБС с повышенным уровнем тревоги были четырёх и пятикомпонентный кластеры – 37,5% и 37,5% соответственно. В группе пациентов, имеющих повышенный уровень депрессии, несколько чаще встречались лица с 5-ти компонентным кластером МС в сравнении с мужчинами с нормальными показателями депрессии: 42,5% vs 41,3% 37,5% vs 25,6% ($\chi^2=1,47$, $df=1$, $p=0,266$) (рис. 4). Выявленные различия статистической значимости не имели.

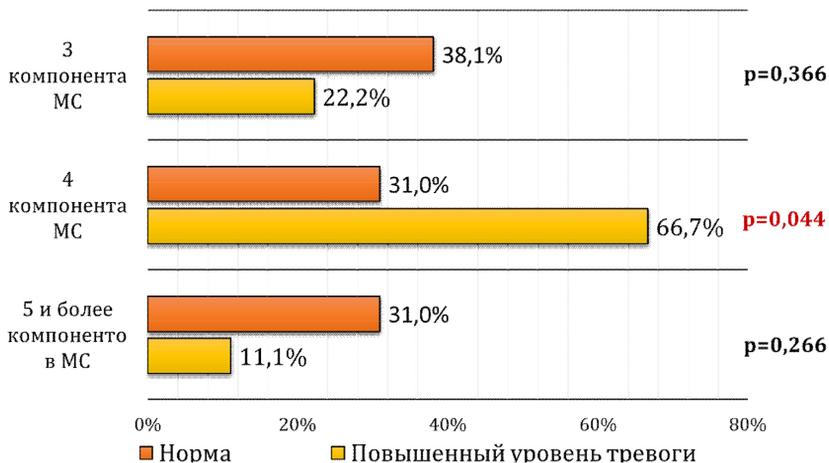


Рис. 3. Частота трех, четырех и пяти компонентных кластеров МС у мужчин с хронической ишемической болезнью сердца в зависимости от уровня тревоги

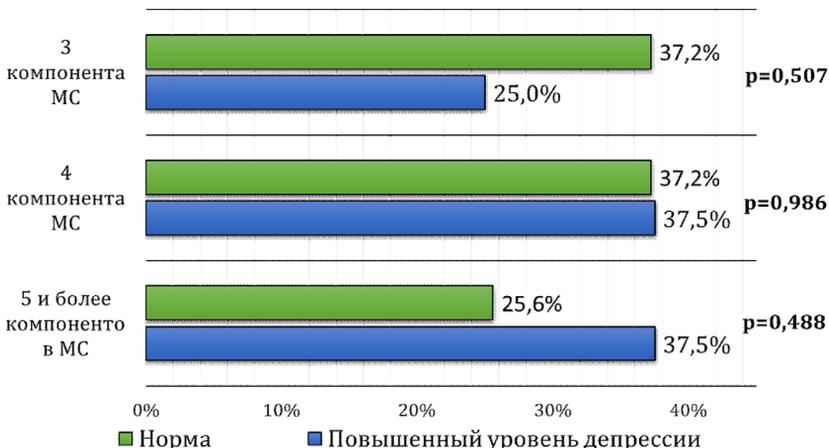


Рис. 4. Частота трех, четырех и пяти компонентных кластеров МС у мужчин с хронической ишемической болезнью сердца в зависимости от уровня депрессии

Среди обследованных мужчин с ХИБС, имеющих повышенные уровни тревоги значительно чаще встречались кластеры МС, включающие в себя сочетание артериальной гипертонии (АГ), абдоминального ожирения (АО) и липидных нарушений, с высокими значениями триглицеридов (ГТГ) и холестерина липопротеинов низкой плотности (гиперХС ЛПНП) и: 11,1% vs

0,0% ($\chi^2=4,76$, $df=1$, $p=0,029$) а также с АГ, АО, ХС ЛПНП и нарушениями углеводного обмена (НУО): 22,2% vs 2,4% ($\chi^2=5,27$, $df=1$, $p=0,022$) (рис. 5).



Рис. 5. Частота кластеров метаболического синдрома у лиц, имеющих ХИБС с различными показателями тревоги.

Примечание: АГ – артериальная гипертензия; АО – абдоминальное ожирение; НУО – нарушения углеводного обмена; ГЛПНП – высокий уровень липопротеинов низкой плотности; ГЛПВП – низкий уровень липопротеинов высокой плотности; ГТГ – гипертриглицеридемия.



Рис. 6. Частота кластеров метаболического синдрома у лиц, имеющих ХИБС с различными показателями депрессии.

Примечание: АГ – артериальная гипертензия; АО – абдоминальное ожирение; НУО – нарушения углеводного обмена; ГЛПНП – высокий уровень липопротеинов низкой плотности; ГЛПВП – низкий уровень липопротеинов высокой плотности; ГТГ – гипертриглицеридемия.

Среди обследованных мужчин с АГ как с повышенным уровнем депрессии, так и с нормальными её показателями наиболее часто (25,0% и 25,6%) встречался трехкомпонентный кластер МС, включающий в себя сочетание АГ, АО и ХС ЛПНП (рис. 6).

Вторым по частоте после кластера МС с вышеперечисленными компонентами среди обследуемых мужчин с повышенным уровнем депрессии был кластер, включающий: артериальную гипертензию, абдоминальное ожирение, гиперХС ЛПНП и нарушения липидов, характеризующихся пониженными показателями холестерина липопротеинов высокой плотности (гиперХС ЛПВП): у мужчин с повышенным уровнем тревоги – 25,0% и с нормальными показателями – 2,3% ($\chi^2=0,21$, $df=1$, $p=0,649$) соответственно.

В заключении следует отметить, что у лиц с ХИБС, имеющих МС, как с повышенными уровнями тревоги, так и повышенные уровни депрессии чаще выявлялись 3-х и 4-х компонентные кластеры МС, включающие АО, АГ и различные дислипидемии. Похожие закономерности были отмечены в упомянутом выше исследовании, где было показано, что среди обследованных мужчин с АГ как с повышенным уровнем депрессии, так и с нормальными её показателями наиболее часто на уровне тенденции встречался кластер МС, включающий сочетание АО с АГ и липидными нарушениями по типу гиперХС ЛПНП и ГТГ [17].

Выводы

Установлено, что среди мужчин с ХИБС, имеющих МС медиана усреднённого балла тревоги по шкале HADS была значимо выше ($p=0,041$) в сравнении с лицами без МС. Количество пациентов с МС, имеющих клинически выраженную тревогу и депрессию по шкале HADS, было выше в сравнении с лицами без МС. Наиболее частым кластером МС среди пациентов с ХИБС с повышенным уровнем тревоги был трехкомпонентный, а у лиц с повышенным уровнем депрессии – пятикомпонентный кластеры. Среди мужчин с ХИБС, имеющих МС, как с повышенными уровнями тревоги, так и повышенные уровни депрессии чаще выявлялись 3-х и 4-х компонентные кластеры МС, включающие АО, АГ и различные дислипидемии.

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

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Алексеева Н. С., Салмина-Хвостова О. И. Аффективные расстройства у пациентов с метаболическим синдромом // Acta Biomedica Scientifica. 2014. №5 (99). С. 9-12.
2. Ахмеджанов Н. М., Бутрова С. А., Дедов И. И. и др. Консенсус российских экспертов по проблеме метаболического синдрома в Российской Федерации: определение, диагностические критерии, первичная профилактика, лечение // Рациональная Фармакотерапия в Кардиологии. 2010. Т. 6, № 4. С. 5-12.
3. Барбараш О. Л., Карпов Ю. А., Кашталап В. В. и др. Стабильная ишемическая болезнь сердца. Клинические рекомендации 2020 // Российский кардиологический журнал. 2020. Т. 25, № 11. С. 4076. <https://doi.org/10.15829/29/1560-4071-2020-4076>
4. Гринштейн Ю. И., Шабалин В. В., Руф Р. Р., Шальнова С. А. Распространенность метаболического синдрома в популяции Красноярского края и особенности его ассоциации с гиперурикемией // Российский кардиологический журнал. 2020. Т. 25, № 6. С. 55-60. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-3852>.
5. Джериева И. С., Волкова Н. И., Рапопорт С. И. Ассоциация между депрессией и метаболическим синдромом // Клиническая медицина. 2015. Т. 93. № 1. С. 62-65.
6. Донцов А. В. Гендерные особенности тревожно-депрессивных расстройств при метаболическом синдроме // Врач. 2014. № 2. С. 72-74.
7. Москаленко О. Л., Смирнова О. В., Каспаров Э. В., Зайцева О. И. Диагностика метаболического синдрома на современном этапе // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2019. Т. 11, № 5. С. 94-100. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2019-11-5-94-100>
8. Москаленко О. Л., Смирнова О. В., Каспаров Э. В., Каспарова И. Э. Структура психологических расстройств больных с метаболическим синдромом и неалкогольной жировой болезнью печени // Russian Journal of Education and Psychology. 2021. Т. 12, № 4-2. С. 340-348. <https://doi.org/10.12731/2658-4034-2021-12-4-2-340-348>
9. Москаленко О. Л., Смирнова О. В., Терещенко С. Ю., Каспаров Э. В. Тревожно-депрессивные расстройства у пациентов с метаболическим синдромом // Russian Journal of Education and Psychology. 2021. Т. 12, № 4. С. 118-137. <https://doi.org/10.12731/2658-4034-2021-12-4-118-137>
10. Москаленко О. Л., Яскевич Р. А. Тревожно-депрессивные расстройства у жителей Крайнего Севера и Сибири // Russian Journal of Education and

- Psychology. 2021. Т. 12. № 3-2. С. 113-119. <https://doi.org/10.12731/2658-4034-2021-12-3-2-113-119>
11. Москаленко О.Л., Яскевич Р.А. Тревожно-депрессивные расстройства у пациентов с артериальной гипертонией (обзор литературы) // Russian Journal of Education and Psychology. 2021. Т. 12, № 1-2. С. 185-190. <https://doi.org/10.12731/2658-4034-2021-12-1-2-185-190>
 12. Песковец Р. Д., Штарик С. Ю., Евсюков А. А. Коморбидность аффективных расстройств и метаболического синдрома среди взрослого населения города Красноярска // Сибирский медицинский журнал (г. Томск). 2016. Т. 31, № 4. С. 65-68.
 13. Ротарь О. П., Либис Р. А., Исаева Е. Н. и др. Распространенность метаболического синдрома в разных городах РФ // Российский кардиологический журнал. 2012. Т. 17, № 2. С. 55-62.
 14. Чазова И. Е., Мычка В. Б., Литвин А. Ю. и др. Диагностика и лечение метаболического синдрома. Российские рекомендации (второй пересмотр) // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2009. – Т. 8, № 6 (S2). – С. 1-29.
 15. Яскевич Р. А., Каспаров Э. В., Гоголашвили Н. Г. Влияние северного стажа на частоту метаболического синдрома и его компонентов у мигрантов Крайнего Севера после переезда в новые климатикогеографические условия проживания // Якутский медицинский журнал. 2021. № 3 (75). С. 80-84. <https://doi.org/10.25789/YMJ.2021.75.21>
 16. Яскевич Р. А., Кочергина К. Н., Каспаров Э. В. Влияние выраженности тревожно-депрессивных расстройств на качество жизни больных артериальной гипертонией // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2019. Т. 11, № 5-2. С. 146-151. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2019-11-5-2-146-151>
 17. Яскевич Р. А., Москаленок О.Л. Аффективные расстройства у мужчин, имеющих артериальную гипертонию в сочетании с метаболическим синдромом // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Т. 14, № 4. С. 126-145. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-4-126-145>
 18. Baxter A., Scott K., Vos T., Whiteford H. Global prevalence of anxiety disorders: A systematic review and meta-regression // Psychological Medicine. 2013. Vol. 43, № 5. P. 897-910. <https://doi.org/10.1017/S003329171200147X>
 19. Boschloo L., Reeuwijk K. G., Schoevers R. A., W. J. H. Penninx B. The impact of lifestyle factors on the 2-year course of depressive and/or anxiety disorders // J. Affect. Disord. 2014. Vol. 159. P. 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2014.01.019>
 20. Depression and Other Common Mental Disorders. Global Health Estimates. Geneva : World Health Organization, 2017. 24 p.

21. Hiles S.A., Révész D., Lamers F. et al. Bidirectional prospective associations of metabolic syndrome components with depression, anxiety, and antidepressant use // *Depress. Anxiety*. 2016. Vol. 33. P. 754-764. <https://doi.org/10.1002/da.22512>
22. Kim B., Park E. Y. The combined effect of socioeconomic status and metabolic syndrome on depression: the Korean National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES) // *BMC Public Health*. 2020. Vol. 4, № 20(1). P. 617. <https://doi.org/10.1186/s12889-020-08778-3>
23. Limon V. M., Lee M., Gonzalez B. et al. The impact of metabolic syndrome on mental health-related quality of life and depressive symptoms // *Qual. Life. Res.* 2020. Vol. 29, № 8. P. 2063-2072. <https://doi.org/10.1007/s11136-020-02479-5>
24. Lopresti A. L., Hood S. D., Drummond P. D. A review of lifestyle factors that contribute to important pathways associated with major depression: diet, sleep and exercise // *J. Affect. Disord.* 2013. Vol. 148. P. 12-27. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2013.01.014>
25. Mattei G., Padula M. S., Rioli G. et al. Metabolic Syndrome, Anxiety and Depression in a Sample of Italian Primary Care Patients // *J. Nerv. Ment. Dis.* 2018. Vol. 206, № 5. P. 316-324. <https://doi.org/10.1097/NMD.0000000000000807>
26. O'Neill S., O'Driscoll L. Metabolic syndrome: a closer look at the growing epidemic and its associated pathologies // *Obes. Rev.* 2015. Vol. 16. P. 1-12. <https://doi.org/10.1111/obr.12229>
27. Ortiz M. S., Sapunar J. Estrés psicológico y síndrome metabólico [Longitudinal association between chronic psychological stress and metabolic syndrome] // *Rev. Med. Chil.* 2018. Vol. 146, № 11. P. 1278-1285. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872018001101278>
28. Pan A., Keum N., Okereke O. I. et al. Bidirectional Association Between Depression and Metabolic Syndrome: A systematic review and meta-analysis of epidemiological studies // *Diabetes Care.* – 2012. – Vol. 35, № 5. – P. 1171–1180. doi: 10.2337/dc11-2055.
29. Pimenta A. M., Lahortiga-Ramos F., Sayon-Orea C. et al. Depression and metabolic syndrome in participants of the “Seguimiento Universidad de Navarra” (SUN) cohort study // *J Affect Disord.* 2021. Vol. 1, № 284. P. 183-189. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2021.02.002>
30. Rhee S.J., Kim E.Y., Kim S.H. et al. Subjective depressive symptoms and metabolic syndrome among the general population // *Prog. Neuropsychopharmacol. Biol. Psychiatry*. 2014. Vol. 3, № 54. P. 223-230. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2014.06.006>
31. Saklayen M. G. The Global Epidemic of the Metabolic Syndrome // *Curr Hypertens Rep.* 2018. Vol. 20, № 2. P. 12. <https://doi.org/10.1007/s11906-018-0812-z>

32. Tang F., Wang G., Lian Y. Association between anxiety and metabolic syndrome: A systematic review and meta-analysis of epidemiological studies // *Psychoneuroendocrinology*. 2017. Vol. 77. P. 112-121. <https://doi.org/10.1016/j.psypneuen.2016.11.025>
33. Wiltink J., Michal M., Jünger C. et al. Associations between degree and sub-dimensions of depression and metabolic syndrome (MetS) in the community: results from the Gutenberg Health Study (GHS) // *BMC Psychiatry*. 2018. Vol. 18, № 1. P. 114. <https://doi.org/10.1186/s12888-018-1691-1>
34. World health statistics 2018: monitoring health for the SDGs, Sustainable Development Goals. Geneva: WHO, 2018. 86 p.
35. Zigmond A. S. The Hospital Anxiety and Depression scale // *Acta Psychiatr. Scand.* 1983. P. 361-370. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0447.1983.tb09716.x>

References

1. Alekseeva N.S., Salmina-Khvestova O.I. Affektivnye rasstroystva u patsientov s metabolicheskim sindromom [Affective disorders in patients with metabolic syndrome]. *Acta Biomedica Scientifica* [Acta Biomedica Scientifica]. 2014. №5 (99). P. 9-12.
2. Akhmedzhanov N.M., Butrova S.A., Dedov I.I. et al. Konsensus rossiyskikh ekspertov po probleme metabolicheskogo sindroma v Rossiyskoy Federatsii: opredelenie, diagnosticheskie kriterii, pervichnaya profilaktika, lechenie [Consensus of Russian experts on the problem of metabolic syndrome in the Russian Federation: definition, diagnostic criteria, primary prevention, treatment]. *Ratsional'naya Farmakoterapiya v Kardiologii* [Rational Pharmacotherapy in Cardiology]. 2010. Vol. 6. № 4. P. 5-12.
3. Barbarash O. L., Karpov Yu. A., Kashtalov V. V. et al. Stabil'naya ishemiicheskaya bolezni' serdtsa. Klinicheskie rekomendatsii 2020 [Stable coronary heart disease. Clinical guidelines 2020]. *Rossiyskiy kardiologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Cardiology]. 2020. Vol. 25. № 11. P. 4076. <https://doi.org/10.15829/291560-4071-2020-4076>
4. Grinshteyn Yu.I., Shabalin V.V., Ruff R.R., Shal'nova S. A. Rasprostranennost' metabolicheskogo sindroma v populyatsii Krasnoyarskogo kraya i osobennosti ego assotsiatsii s giperurikemiei [The prevalence of metabolic syndrome in the population of the Krasnoyarsk Territory and the features of its association with hyperuricemia]. *Rossiyskiy kardiologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Cardiology]. 2020. Vol. 25. № 6. P. 55-60. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-3852>
5. Dzherieva I.S., Volkova N. I., Rapoport S.I. Assotsiatsiya mezhdu depressiei i metabolicheskim sindromom [Association between depression and metabolic

- syndrome]. *Klinicheskaya meditsina* [Clinical Medicine]. 2015. Vol. 93. № 1. P. 62-65.
6. Dontsov A.V. Gendernye osobennosti trevozhno-depressivnykh rasstroystv pri metabolicheskom sindrome [Gender characteristics of anxiety and depressive disorders in metabolic syndrome]. *Vrach* [Vrach]. 2014. № 2. P. 72-74.
 7. Moskalenko O.L., Smirnova O.V., Kasparov E.V., Zaytseva O.I. Diagnostika metabolicheskogo sindroma na sovremennom etape [Diagnostics of the metabolic syndrome at the present stage]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2019. Vol. 11. № 5. P. 94-100. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2019-11-5-94-100>
 8. Moskalenko O. L., Smirnova O. V., Kasparov E. V., Kasparova I. E. Struktura psikhologicheskikh rasstroystv bol'nykh s metabolicheskim sindromom i nealkogol'noy zhirovoy bolezn'yu pecheni [The structure of psychological disorders in patients with metabolic syndrome and non-alcoholic fatty liver disease]. *Russian Journal of Education and Psychology*. 2021. Vol. 12. № 4-2. P. 340-348. <https://doi.org/10.12731/2658-4034-2021-12-4-2-340-348>
 9. Moskalenko O.L., Smirnova O.V., Tereshchenko S.Yu., Kasparov E.V. Trevozhno-depressivnye rasstroystva u patsientov s metabolicheskim sindromom [Anxiety and depressive disorders in patients with metabolic syndrome]. *Russian Journal of Education and Psychology*. 2021. Vol. 12. № 4. P. 118-137. <https://doi.org/10.12731/2658-4034-2021-12-4-118-137>
 10. Moskalenko O.L., Yaskevich R.A. Trevozhno-depressivnye rasstroystva u zhitel'ey Kraynego Severa i Sibiri [Anxiety and depressive disorders in residents of the Far North and Siberia]. *Russian Journal of Education and Psychology*. 2021. Vol. 12. № 3-2. P. 113-119. <https://doi.org/10.12731/2658-4034-2021-12-3-2-113-119>
 11. Moskalenko O.L., Yaskevich R.A. Trevozhno-depressivnye rasstroystva u patsientov s arterial'noy gipertoniey (obzor literatury) [Anxiety and depressive disorders in patients with arterial hypertension (literature review)]. *Russian Journal of Education and Psychology*. 2021. Vol. 12. № 1-2. P. 185-190. <https://doi.org/10.12731/2658-4034-2021-12-1-2-185-190>
 12. Peskovets R. D., Shtarik S. Yu., Evsyukov A. A. Komorbidnost' affektivnykh rasstroystv i metabolicheskogo sindroma sredi vzroslogo naseleniya goroda Krasnoyarska [Comorbidity of affective disorders and metabolic syndrome among the adult population of the city of Krasnoyarsk]. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal (g. Tomsk)* [Siberian Medical Journal (Tomsk)]. 2016. Vol. 31. № 4. P. 65-68.
 13. Rotar' O.P., Libis R.A., Isaeva E. N. et al. Rasprostranennost' metabolicheskogo sindroma v raznykh gorodakh RF [The prevalence of metabolic syndrome in

- different cities of the Russian Federation]. *Rossiyskiy kardiologicheskiy zhurnal* [Russian Journal of Cardiology]. 2012. Vol. 17. № 2. P. 55-62.
14. Chazova I.E., Mychka V.B., Litvin A.Yu. et al. Diagnostika i lechenie metabolicheskogo sindroma. Rossiyskie rekomendatsii (vtoroy peresmotr) [Diagnosis and treatment of metabolic syndrome. Russian recommendations (second revision)]. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika* [Cardiovascular therapy and prevention]. 2009. Vol. 8. № 6 (S2). P. 1-29.
 15. Yaskevich R.A., Kasparov E.V., Gogolashvili N.G. Vliyaniye severnogo stazha na chastotu metabolicheskogo sindroma i ego komponentov u migrantov Kraynego Severa posle perezda v novye klimatogeograficheskie usloviya prozhivaniya [Influence of northern experience on the frequency of metabolic syndrome and its components in migrants of the Far North after moving to new climatic and geographical conditions of residence]. *Yakutskiy meditsinskiy zhurnal* [Yakut medical journal]. 2021. № 3(75). P. 80-84. <https://doi.org/10.25789/YMJ.2021.75.21>
 16. Yaskevich R.A., Kochergina K.N., Kasparov E.V. Vliyaniye vyrazhennosti trevozhno-depressivnykh rasstroystv na kachestvo zhizni bol'nykh arterial'noy gipertoniei [Influence of the severity of anxiety and depressive disorders on the quality of life of patients with arterial hypertension]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2019. Vol. 11. №5-2. P. 146-151. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2019-11-5-2-146-151>
 17. Yaskevich R. A., Moskalenko O. L. Affektivnye rasstroystva u zhenshchin, imeyushchikh arterial'nyuyu gipertoniyu v sochetanii s metabolicheskim sindromom [Affective disorders in women with arterial hypertension in combination with metabolic syndrome]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022. Vol. 14, № 4. P. 126-145. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-4-126-145>
 18. Baxter A., Scott K., Vos T., Whiteford H. Global prevalence of anxiety disorders: A systematic review and meta-regression. *Psychological Medicine*. 2013. Vol. 43. № 5. P. 897-910. <https://doi.org/10.1017/S003329171200147X>
 19. Boschloo L., Reeuwijk K. G., Schoevers R. A., W. J. H. Penninx B. The impact of lifestyle factors on the 2-year course of depressive and/or anxiety disorders. *J. Affect. Disord.* 2014. Vol. 159. P. 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2014.01.019>
 20. Depression and Other Common Mental Disorders. Global Health Estimates. Geneva : World Health Organization, 2017. 24 p.
 21. Hiles S.A., Révész D., Lamers F. et al. Bidirectional prospective associations of metabolic syndrome components with depression, anxiety, and antidepressant use. *Depress. Anxiety*. 2016. Vol. 33. P. 754-764. <https://doi.org/10.1002/da.22512>

22. Kim B., Park E. Y. The combined effect of socioeconomic status and metabolic syndrome on depression: the Korean National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES). *BMC Public Health*. 2020. Vol. 4. №20(1). P. 617. <https://doi.org/10.1186/s12889-020-08778-3>
23. Limon V. M., Lee M., Gonzalez B. et al. The impact of metabolic syndrome on mental health-related quality of life and depressive symptoms. *Qual. Life. Res.* 2020. Vol. 29. № 8. P. 2063-2072. <https://doi.org/10.1007/s11136-020-02479-5>
24. Lopresti A. L., Hood S. D., Drummond P. D. A review of lifestyle factors that contribute to important pathways associated with major depression: diet, sleep and exercise. *J. Affect. Disord.* 2013. Vol. 148. P. 12-27. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2013.01.014>
25. Mattei G., Padula M. S., Rioli G. et al. Metabolic Syndrome, Anxiety and Depression in a Sample of Italian Primary Care Patients. *J. Nerv. Ment. Dis.* 2018. Vol. 206. № 5. P. 316-324. <https://doi.org/10.1097/NMD.0000000000000807>
26. O'Neill S., O'Driscoll L. Metabolic syndrome: a closer look at the growing epidemic and its associated pathologies. *Obes. Rev.* 2015. Vol. 16. P. 1-12. <https://doi.org/10.1111/obr.12229>
27. Ortiz M. S., Sapunar J. Estrés psicológico y síndrome metabólico [Longitudinal association between chronic psychological stress and metabolic syndrome]. *Rev. Med. Chil.* 2018. Vol. 146. № 11. P. 1278-1285. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872018001101278>
28. Pan A., Keum N., Okereke O. I. et al. Bidirectional Association Between Depression and Metabolic Syndrome: A systematic review and meta-analysis of epidemiological studies. *Diabetes Care.* 2012. Vol. 35. № 5. P. 1171-1180. <https://doi.org/10.2337/dc11-2055>
29. Pimenta A. M., Lahortiga-Ramos F., Sayon-Orea C. et al. Depression and metabolic syndrome in participants of the “Seguimiento Universidad de Navarra” (SUN) cohort study. *J. Affect Disord.* 2021. Vol. 1. № 284. P. 183-189. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2021.02.002>
30. Rhee S.J., Kim E.Y., Kim S.H. et al. Subjective depressive symptoms and metabolic syndrome among the general population. *Prog. Neuropsychopharmacol. Biol. Psychiatry.* 2014. Vol. 3. № 54. P. 223-230. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2014.06.006>
31. Saklayen M. G. The Global Epidemic of the Metabolic Syndrome. *Curr Hypertens Rep.* 2018. Vol. 20. № 2. P. 12. <https://doi.org/10.1007/s11906-018-0812-z>
32. Tang F., Wang G., Lian Y. Association between anxiety and metabolic syndrome: A systematic review and meta-analysis of epidemiological studies. *Psychoneuroendocrinology.* 2017. Vol. 77. P. 112-121. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2016.11.025>

33. Wiltink J., Michal M., Jünger C. et al. Associations between degree and sub-dimensions of depression and metabolic syndrome (MetS) in the community: results from the Gutenberg Health Study (GHS). BMC Psychiatry. 2018. Vol. 18. № 1. P. 114. <https://doi.org/10.1186/s12888-018-1691-1>
34. World health statistics 2018: monitoring health for the SDGs, Sustainable Development Goals. Geneva: WHO, 2018. 86 p.
35. Zigmond A. S. The Hospital Anxiety and Depression scale. Acta Psychiatr. Scand. 1983. 361-370. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0447.1983.tb09716.x>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Яскевич Роман Анатольевич, ведущий научный сотрудник группы патологии сердечно-сосудистой системы, доцент кафедры пропедевтики внутренних болезней и терапии, доктор медицинских наук, доцент *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт медицинских проблем Севера»*

ул. Партизана Железняка, 3г, г. Красноярск, 660022, Российская Федерация
cardio@impn.ru

Москаленко Ольга Леонидовна старший научный сотрудник, кандидат биологических наук *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт медицинских проблем Севера»*

ул. Партизана Железняка, 3г, г. Красноярск, 660022, Российская Федерация
gre-ll@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Roman A. Yaskevich, leading researcher of the group pathology of the cardiovascular system, associate professor at department of propedeutics of internal diseases and therapy, doctor of medical science, docent *Federal State Budgetary Scientific Institution «Scientific Research Institute of medical problems of the North»*

3g, P. Zheleznyaka Str., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation
cardio@impn.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4033-3697>

Scopus Author ID: 56335744200

Researcher ID: E-2876-2018

Olga L. Moskalenko, Senior Researcher, Candidate of Biological Sciences
Federal State Budgetary Scientific Institution «Scientific Research Institute of medical problems of the North»
3g, P. Zheleznyaka Str., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation
gre-ll@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4268-6568>
Scopus Author ID: 57221448825
Researcher ID: H-4076-2017

Поступила 30.09.2022

После рецензирования 10.10.2022

Принята 26.10.2022

Received 30.09.2022

Revised 10.10.2022

Accepted 26.10.2022

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ И СООБЩЕНИЯ**SCIENTIFIC REVIEWS AND REPORTS**

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-346-377

УДК 577.3



Обзорная статья

**БИОСОВМЕСТИМЫЕ
БИОМИМЕТИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ
СТРУКТУРЫ С АКТИВНЫМ ОТКЛИКОМ
В ИМПЛАНТОЛОГИИ И РЕГЕНЕРАТИВНОЙ
МЕДИЦИНЕ
ЧАСТЬ I. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ
БИОСОВМЕСТИМОСТИ АКТИВНЫХ
ИМПЛАНТАТОВ**

О.В. Градов, М.А. Градова, В.В. Кочервинский

Рассматривается проблема физико-химических критериев биосовместимости активных полимерных имплантатов и реагирующих на стимулы скаффолдов. С позиций физики поверхности и управляемого смачивания рассматриваются возможности динамического управления биосовместимостью и адаптивного изменения свойств имплантатов под действием отклика окружающих тканей. Резюмируются базовые свойства активных биосовместимых и биомиметических имплантируемых материалов, отличающие их от пассивных имплантатов ранних поколений. В числе последних указываются: электрофизическая и электрофизиологическая мембранная биосовместимость (вплоть до аналогии с биомембранами – «мембраномиметики» Фендлера); возбудимость, то есть способность переходить в качественно иное состояние, реагируя на внешний стимул; совместимость параметров согласования и импедансов биомембран и активных имплантируемых материалов; наличие всех релевантных типов сопряжения, то есть конвертирования энергии, свойственных биомембранам (хемиосмотического, электрохимического, электромеханического и т.д.); спо-

способность к согласованному с параметрами клеточной среды и регулируемому её состоянию пропусканию и высвобождению фармпрепаратов. Вследствие качественного изменения биомедицинского значения подобных имплантатов (от замещения естественной функции к её восстановлению и поддержанию), рассматривается возможность реализации на данных материалах различных новых биорелевантных функций, таких как способность к сенсингу и актуации, основанным на реактивности и преобразовании сигнала / энергии в данных системах. Особенный интерес представляет адаптивная реализация этих функций в растущем и развивающемся организме в механизмах онтогенеза.

Ключевые слова: биосовместимость; активные имплантаты; биомиметические полимерные структуры; скаффолды; адаптивные биоматериалы; адресная доставка фармпрепаратов; мембраномиметики

Для цитирования. Градов О.В., Градова М.А., Кочервинский В.В. Биосовместимые биомиметические полимерные структуры с активным откликом в имплантологии и регенеративной медицине. Часть I. Основные принципы биосовместимости активных имплантатов // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №1. С. 346-377. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-346-377

Scientific review

BIOCOMPATIBLE BIOMIMETIC POLYMER STRUCTURES WITH AN ACTIVE RESPONSE FOR IMPLANTOLOGY AND REGENERATIVE MEDICINE PART I: BASIC PRINCIPLES OF THE ACTIVE IMPLANT'S BIOCOMPATIBILITY

O.V. Gradov, M.A. Gradova, V.V. Kochervinskii

Physical and chemical criteria of biocompatibility of the active polymer implants and stimuli-responsive scaffolds are considered. From the standpoint of the surface physics and controlled wetting, the possibilities of dynamic control of biocompatibility and adaptive changes in the implant properties in response to the signal from the surrounding tissues are considered. The basic properties of the active biocompatible and biomimetic implantable materials, which distinguish them from the passive implants, are summarized. The latter include: electrophysical and electrophysiological membrane biocompatibility (up to the analogy with

biomembranes – the so-called Fendler’s “membrane mimetics”); excitability, that is, the ability to qualitatively change their state in response to the external stimulus; compatibility of the matching parameters and impedances of biomembranes and active implantable materials; the presence of the main types of the energy conversion characteristic of biomembranes (chemiosmotic, electrochemical, electromechanical, etc.); the ability to transport and release pharmaceuticals consistent with the parameters of the cellular microenvironment and regulated by its state. Due to the qualitative change in the biomedical aim of such implants (from replacing the natural function to its regeneration and maintenance), there is a possibility of implementing various new biologically relevant functions using these materials, such as the ability to sensing and actuation, based on their reactivity and signal / energy conversion capacity. Of particular interest is the adaptive realization of the above functions in a growing and developing organism during its ontogenesis.

Keywords: *biocompatibility; active implants; biomimetic polymer structures; soft mater implants; scaffolds; adaptive biomaterials; targeted drug delivery; membrane mimetics*

For citation. *Gradov O.V., Gradova M.A., Kochervinskii V.V. Biocompatible biomimetic polymer structures with an active response for implantology and regenerative medicine. Part I: Basic principles of the active implant’s biocompatibility. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 346-377. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-346-377*

1. Эволюция представлений о критериях биосовместимости материалов

Для любых приложений синтетических материалов, вводимых в человеческое тело, как постоянно (имплантация), так и временно для регистрации внутренних параметров (например, сенсоры, интроскопия) или для поддержания функций (например, катетеры, зонды), необходима биосовместимость материала, соприкасающегося с поверхностью ткани. Для экспонирования материала в течение длительного периода в контакте с поверхностью человеческого тела, как правило, требуется гипоаллергенность, являющаяся частным случаем биосовместимости. Как следствие этого, анализ биомедицинских приложений полимеров с активным откликом следует начать с установления и физической трактовки критериев биосовместимости, вне зависимости от характера введения / контакта с поверхностью биологической ткани (внутреннего или наружного).

Критерии биосовместимости материалов могут быть разделены на две не работающие в отдельности группы: физические и химические или био-

химические. По совокупности данных критериев, обеспечивающих ту или иную реакцию ткани, материалы группируются в четыре класса: токсичные, особенно цитотоксичные (убивают окружающие ткани); инертные (как правило, имплантируемые материалы, вокруг которых формируется волокнистая ткань); биоактивные (слабо инкапсулирующиеся, но с межповерхностной связью материала и ткани); биорезорбируемые (замещаемые тканью организма хозяина без образования цитотоксичных / гистотоксичных продуктов). Наивные представления 1970-х–1980-х гг. о детерминированности биологического поведения материала исключительно химическими факторами к настоящему времени представляют интерес только в историческом контексте. Согласно представлениям и техническим нормативам тех лет, биосовместимость трактовалась как химическая инертность / биохимическая интактность материала: нетоксичность, неаллергенность, нетромбогенность, неканцерогенность, и пр. Поэтому выбирались сплавы металлов на основе титана и платины, полимерные матрицы на основе полиэтилена и силикона. Однако, в действительности, как то неоднократно демонстрировалось с 1990-х гг. [31,83,107,128], казавшиеся инертными сплавы нередко обладают высокой цитотоксичностью в силу их биокаталитической активности, в частности, редокс-каталитической активности (это может быть хорошо с точки зрения бактерицидного действия [182], однако, опасно и для нормальных тканей, вплоть до окисления липидов мембран и подавления митохондриальной активности [66,163,177]).

В рамках металломики и биоэлементомики [97,111,147,174], существует достаточно репрезентативный выбор специфических путей утилизации ионов металлов организмом, позволяющих им встраиваться в различные метаболические цепи (или, корректнее, сети, в том числе каталитические сети Кауффмана [133,173]), нарушая их работу. По этой причине, любые сплавы биомедицинского назначения в настоящее время проходят перед внедрением, как минимум, *in vitro* тестирование на цитотоксичность [129], в котором выявляют не только биоактивность отдельных компонентов сплава, но и их взаимодействие в клетке, усиливающее (в частности, кооперативное) или ослабляющее (в частности, конкурентное) их раздельный биохимический эффект [175]. Комплексные биологические эффекты металломики, как правило, можно свести к более простым химическим механизмам, таким, как окисление-восстановление, редокс-катализ [13], в частности, фотохимический / фотоэлектрохимический катализ, перенос электронов / носителей заряда по цепям [26,59] (неспецифиче-

ский, проявляющийся и в искусственных металлосодержащих системах [19]). Неудивительно, что с тех же «зарядовых», то есть электрофизических и электрохимических позиций, рассматривается конкуренция или кооперативное взаимодействие в биохимических (и биомиметических) системах, содержащих более одного металла, регулирующих биохимический «редокс-статус» компартментов клетки [27]. Отсюда следует, с одной стороны, что чисто химическая интерпретация, игнорирующая в корне электрофизику активных интерфейсов между клеткой и имплантатом, неприемлема. Но, с другой стороны, сведение реактивности к элементарным рядам Гофмейстера не является продуктивным для системы, синхронно гомеостатируемой (регулируемой) по многим ионным концентрациям. В силу этого, возможен переход от простых критериев электрохимической нейтральности при биосовместимости материалов, использовавшихся в период превалирования металлических и биоинертных электрохимически-инертных металлокерамических биосовместимых изделий, к более высокому уровню абстрагирования – электрофизическому / электрофизиологическому, объединяющему критерии или индикаторы биосовместимости металлических, полимерных и иных материалов на единой шкале признаков (дескрипторов).

Этот переход подталкивается не только развитием фундаментальных представлений, но и качественным изменением принципа действия материала, взаимодействующего с тканью, в силу перехода от инструментов с пассивной поверхностью и пассивных протезов к активным. И если с медицинскими инструментами проблема не встаёт так остро, в связи с малой длительностью их экспонирования в контакте с телом в ходе медицинских манипуляций, то для протезирующих материалов свойства активной поверхности становятся критическим фактором. И, если в 1970-х гг., на ранних этапах развития медицинского материаловедения, активность вводимых в контакт с тканью полимерных поверхностей определялась исключительно биохимическим критерием – замедленным высвобождением лекарственного вещества из полимеров [46,88], то сейчас даже этот критерий не рассматривается в отрыве от электрохимических свойств среды организма. В различных тканях организма неэквивалентно действует редокс-сигналинг (или, что равноправно, redox coding [79]), что определяет электрохимическую специфику высвобождения фармакологических препаратов из любых носителей, вводимых в данные ткани. Одни из наиболее ярких примеров, иллюстрирующих данную концепцию, находятся в области онкологии, где редокс-сигналинг создаёт своеобразный

биохимический фон (микроокружение [28]), без учёта которого прогноз развития опухолей и перспектив их лечения зачастую не представляется возможным [91]. Исходя же из редокс-характеристик клеток (intracellular redox status) и клеточного микроокружения, представляется возможным прогноз развития опухоли и определение оптимальных путей доставки к ней фармакохимических средств, преодолевающих её «барьер резистентности», в частности, за счёт использования принципов редокс-опосредованной доставки лекарственных препаратов (redox-responsive drug delivery) [55,127]. В общем случае, не ограниченном пределами онкотерапии, в пределы концепции редокс-контролируемого высвобождения лекарственных средств из высокомолекулярных носителей в тканях организма можно ввести практически все известные способы доставки на основе микрогетерогенных супрамолекулярных [53,82,126] и частично упорядоченных сред (soft matter). В числе последних можно указать, в частности, пористые проводящие полимеры [101,102], обеспечивающие электрохимически-контролируемое высвобождение лекарственных средств (electrochemically controlled drug release или же field-driven electrically controlled drug release), лиотропные жидкие кристаллы [115], редокс-гели (redox gels) с электрохимически и термодимически управляемыми фазовыми переходами [159], электрохимически реактивные пены [4] и коллоидные дисперсные структуры (к числу которых относятся также структуры на базе проводящих полимеров, используемых в целях потенциал-зависимого высвобождения лекарственных средств – potential-induced *in-situ* drug release [142]).

2. От электрохимических критериев биосовместимости к активным имплантатам

Возможно заключить, что, исключая мезопористые неорганические полимеры (также используемые в целях доставки лекарственных препаратов [116]), практически все основные гетерогенные средства доставки, управляемые электрохимическими и электрофизическими путями, относятся к органическим частично упорядоченным средам, преимущественно к полимерам и гидрогелям. Такие системы объединяются в класс электрореактивных полимеров. Данному понятию в зарубежной литературе соответствует существенно более дифференцированная номенклатура (частично перекрывающихся по смыслу) терминов: «electric current sensitive polymers» [87], «electro-responsive [electrical responsive] polymers» / «electro-responsive [electrical responsive] hydrogels» [85,113], «(electric) stimuli-responsive polymers» [178], «electric-field-responsive polymers or

polymer nanoparticles» [51], etc.

Понятно, что, в силу идентичности материаловедческих критериев для биосовместимых материалов подобного рода, аналогичные принципы действуют в полимерных имплантируемых / вводимых в зону регенерации ткани материалах, например, биомиметических проводящих полимерных скаффолдах [60]. Принципы биомиметической электрохимии едины для всех систем этого типа (полимеров, soft matter, в зависимости от критерия объединения), поэтому неудивительно, что одна и та же биомиметическая электрохимия, на основе проводящих полимеров используется в активных полимерных скаффолдах, системах доставки лекарств, активных сенсорных и актуаторных мембранах, искусственных мускулах и нейромышечных интерфейсах, а также интерфейсах «мозг / компьютер» или «нервная ткань / генератор сигналов» [122]. Таким образом, оказывается, что биомиметический характер соответствующих структур и обеспечение критериев их активной биосовместимости (в корне отличной от биоинертности) взаимосвязаны, и связь эта лежит в области электрохимии и электрофизики соответствующих материалов. Однако, если рассматривать проблему с позиций действия электрохимических и электрофизических факторов во всех возможных дискурсах, то оказывается, что свойства отклика многих релевантных для биомедицинского применения полимерных материалов и частично упорядоченных сред в изменяемых зарядовых условиях не ограничиваются контролируемой десорбцией веществ с поверхности, но приводят к неизбежности интегративного рассмотрения электрохимического и электромеханического сопряжения в таких полимерных материалах и частично упорядоченных средах в заданной ионной и редокс-электрохимической обстановке [69,86].

Иными словами, происходит концептуальный переход от биохимически активных материалов и покрытий (в том числе биомиметических [160]) к новому классу активных материалов биомедицинского назначения и, одновременно, к новому классу биомиметических материалов с расширенной номенклатурой критериев биоподобия - биомиметических «умных материалов» (smart materials) с электрофизически-индуцируемой или электрохимически-индуцируемой активностью на интерфейсе с тканью [156].

Таким образом, и само понятие протеза или имплантата как чисто биосовместимого / бионейтрального объекта смещается в сторону имитирующего биологическую функцию динамически-реагирующего (реактивного биомиметического) инструмента обеспечения естественной физиологической функциональности соответствующего органа или ткани. Активный

протез / имплантат, по определению, не только «не мешает жить организму», но и имитирует «жизнь» утраченной им электрофизиологически активной области. В связи с этим, логичной представляется разработка функционально активных протезов посредством молекулярной инженерии биомиметических полимерных материалов с реактивностью (соответствующих дефиниции сенсоров и актуаторов) и способностью вырабатывать или конвертировать энергию [75,103,172,176] (как и в случае живого организма [8,80,124], поскольку, в общем случае, в нелинейной физике активным откликом могут обладать только энергетически накачиваемые среды [52]). Концептуально очевидны несколько вариантов реализации такой инженерии:

1. биофункционализация электропроводящих (небиологических и не производных по отношению к биополимерам организма; не метаболизируемых, а, следовательно, не биорезорбируемых) полимеров и композитов [168];
2. разработка активных имплантатов и имплантируемых скаффолдов на базе электроактивных биокompозитов [38,184];
3. разработка биосовместимых биомиметических электрохимических систем на основе проводящих полимеров [81,121], в том числе, создание биомиметических мембран [54].

Такие системы могут быть имплементированы как в форме объёмных изделий, так и в форме покрытий обычных имплантатов, обеспечивающих их биосовместимость. Если в начале 2000-х термин «биомиметическое покрытие имплантата» относился преимущественно к минеральным кристаллическим оболочкам, которые покрывают дентальные протезы и костные имплантаты [40,56], то сейчас акцент его сдвигается в область полимерных покрытий с вышеуказанными свойствами. При этом, даже первый случай (biomimetic coating / biomimetic deposition) становится совместим с электрохимическим способом (с которым лишь сравнивался ранее [180]), подразумевая электрохимическую активацию биоподобных покрытий кальций-фосфатных имплантов [179]. Адгезивы, как своего рода покрытия тканей, образующие контакт между ними или между ними и скаффолдом, также могут рассматриваться и функционализироваться как активные имплантаты [108]. Многие из них (являясь компонентами для изготовления скаффолдов, либо, неизбежно, входя в непосредственный контакт с ними [16,18,43,76,104,105]) хорошо подходят как под пункт 1 («биофункционализация полимеров и композитов...»), так и под пункт 2 («разработка активных имплантатов и имплантируемых скаффолдов...»).

Поэтому, проблема любых гомогенных активных имплантатов, строго говоря, может быть сведена к проблеме активных интерфейсов, на которых происходит взаимодействие имплантата с тканью и средой.

3. Физика поверхности как основа биосовместимости активных имплантатов

Действительно, все критерии биосовместимости любых материалов – как имплантируемых (например, ангиологического [141], остеологического или хондрологического назначения [146,149]), так и экстракорпорального применения (например, мембраны для гемодиализа [29,64,155]), имеют в основе физические и химические свойства поверхности - интерфейса взаимодействия с тканью. В связи с этим, для определения критериев выбора наиболее оптимальных материалов для активных имплантатов логично воспользоваться перечислением этих критериев биосовместимости. По очевидной причине, в основе списка лежит поверхностная энергия и связанные с ней поверхностные явления. Согласно уравнению Дюпре, работа адгезии между имплантатом и тканями, либо между адгезивным скаффолдом и тканями, равна сумме их удельных поверхностных энергий, за вычетом удельной поверхностной энергии на границе раздела между ними. Согласно уравнению Дюпре-Юнга, можно связать работу адгезии и краевой угол смачивания, который является мерой гидрофильности / гидрофобности (в общем случае, лиофильности / лиофобности) поверхности.

Действительно, известен вклад гидрофильности / гидрофобности в обеспечение биосовместимости полимерных материалов [62,166], что связывается с явлениями поверхностной адсорбции (например, в совместимости полимерных мембранных покрытий с кровью [157]), смачиваемостью поверхности, определяющей возможность распластывания и распространения псевдоподий и филоподий клеток (выростов или отростков клеток) на ней [3,37], оптимальностью для иммобилизации антибактериальных средств [110], и т.д. Однако, подобные эмпирические представления, несмотря на их корректность, не обладают полнотой и предсказательной силой, так как интегральной теории, учитывающей все аспекты вклада поверхностных механизмов в биосовместимость, на данный момент не существует. В действительности, исходя из первых принципов (*ab initio*), рассмотрев приращение энергии Гиббса через алгебраическую сумму приращений других видов энергии, мы можем вывести более общую трактовку, учитывающую в математическом аппарате также термический фактор, химическую, механическую и электрическую энергию. Отсюда, с одной

стороны, можно вывести все оставшиеся физико-химические критерии биосовместимости (исключая спецификацию биохимических факторов), а, с другой стороны, можно вывести критерии активности имплантатов, согласно которым, активные имплантаты могут реализовывать на поверхности электрохимическое, электромеханическое (и обратное ему), тейнохимическое, термоэлектрическое, термохимическое и др. формы преобразования, в зависимости от подведенной энергии.

Эти предложения соответствуют практике, поскольку более глубокое изучение тех же эмпирических результатов в области смачивания и, эквивалентно, гидрофильности / гидрофобности, как правило, приводит к заключению о неразделимости факторов среды или невозможности абстрагированного рассмотрения отдельной формы утилизации и конвертирования различных форм энергии в каждом конкретном случае. Например, анализ материалов имплантатов кардиохирургического назначения приводит к выводу о целесообразности учёта редокс-обстановки и электрохимической коррозии, влияющих на биосовместимость [132]. Или, как альтернативный пример, корреляция биосовместимости электроформованных волокон со смачиваемостью, в действительности, также коррелирует с их механическими свойствами [33], а в случае электроактивных волокон, также и с электромеханическими свойствами (например, в случае ферроэлектрических полимеров). Если выйти за рамки представлений о смачиваемости, с целью валидации границ применимости рассматриваемой физико-химической экстраполяции, окажется, что везде, где действует аддитивно-трактуемая поверхностная энергия, *sensu lato*, можно установить границы взаимного влияния различных составляющих этой энергии, *sensu stricto*, на поверхности имплантата. Так как общеизвестно, что переходы поверхностной энергии в любой из данных видов, *sensu stricto*, соответствуют поверхностным явлениям, можно параллельно рассматривать смачивание и адгезию в рамках одного подхода, интегрируя его, при необходимости, с анализом электрических явлений на поверхности, адсорбции и капиллярно-химических явлений (включая изменения реакционной способности). Действительно, оказывается, что на биосовместимость полимерных и композитных матриц имплантатов одновременно влияют гидрофобность / гидрофильность, адгезия, электрохимические и ионно-транспортные или ионообменные их свойства [22].

Все методы обработки поверхности с целью изменения конкретных показателей биосовместимости затрагивают и другие интегрально связанные с ними через поверхностную энергию параметры. Например, лазерная

обработка приводит также к изменению удельной поверхности, а следовательно, и поверхностной энергии, за счёт появления микрошероховатости [10], а микрошероховатость влияет на механические свойства, адгезию, сорбцию и электромагнитную совместимость имплантируемых биоматериалов [2]. Из этого следует, что электрофизические и электрохимические характеристики процессов на данных поверхностях будут различаться, в зависимости от изменения полного комплекса свойств, изменение которого возможно инициировать воздействием на конкретный дескриптор (например, шероховатость, адгезию или смачиваемость) при физической / химической обработке материала. Отсюда следует, что, в общем случае, включающем использование данных критериев для создания активных имплантатов, было бы целесообразно рассматривать не только смачиваемость, но также электросмачивание в естественном поле электроактивных клеток организма, не только «феноменологические» химические критерии, но и действие физико-химических условий среды на их проявление.

К слову сказать, все эти качества сходятся в «сингулярной точке» низкоразмерных ультраструктур и надмолекулярных полимерных наноструктур, в частности, доменного характера. Если в 1980-х гг. шла речь о детерминировании биосовместимости (трактовавшейся как биоинертность) шероховатостью [68], то сейчас, в результате перехода исследований на масштаб субшероховатости (от 1 до 100 нм по амплитуде и от 10 нм по скважности), на котором текстура поверхности определяется процессами взаимодействия поверхности с окружающей средой (например: окислением, адсорбцией) и отражающими это взаимодействие (в том числе, имевшее место в ходе формирования материала) дефектами, становится возможным управление биосовместимостью полимеров, а также других материалов, используемых при изготовлении имплантатов или скаффолдов, посредством физико-химического управления химизмом, сказывающегося и на их субшероховатости, в силу зависимости последней от процессов окисления, сорбции и т.п.

Ответ на вопросы о природе зависимости свойств полимерных имплантатов от условий обработки, факторов среды и пр. [65,171] является одной из базовых предпосылок перехода от бионейтральных к биофункциональным (активным) имплантатам, так как закономерности протекания поверхностных явлений, в частности, индуцируемого структурообразования, служат теоретической основой получения биомедицинских материалов с заданными свойствами. Аналогично, в случае гидрофильности либо гидрофобности материалов, роль которых в определении биосовме-

стимости известна с 1980-х гг. [123], возникает возможность не (био-)химического управления стационарной гидрофильностью, а физического (в частности, полевого) управления нестационарной смачиваемостью. Иными словами, вместо статической шероховатости, в активных имплантатах можно использовать ее аналог с регулируемой средой амплитудно-частотными распределениями – динамическую субшероховатость (*dynamic subroughness*), а вместо статической смачиваемости динамическую смачиваемость (*dynamic wettability*), которая, в общем случае, связана и с шероховатостью (в том числе, в имплантологии [138], где она коррелирует с адгезией клеток к поверхности имплантата [89]), и с другими параметрами поверхности (капиллярностью и формой пор [96], образованием дефектов при ферментативной обработке [58], наличием поверхностно-активных веществ на поверхности [6]) или интерфейса (например, газообмен и ионный обмен, в частности, протонный обмен на мембранах [77,131]) и среды (редокс-характеристики [7], вязкость [25], температура [169], объёмная диссипация [100]), и может управляться электрическим полем [92,145]. В общем случае, всё вышеизложенное удовлетворительно объясняется поверхностной энергией или свободной энергией Гиббса [170].

Это качественно меняет идеологию использования критериев смачиваемости, адгезии и тому подобных свойств биомедицинских и биосовместимых материалов в медицинских целях. В качестве примера можно привести офтальмологию, где на смену искусственным хрусталикам и контактными линзам с постоянными диоптриями и фокусным расстоянием [57] приходят явления динамической смачиваемости [84] и электросмачивания, несущие за собой возможность реализации имплантируемой или контактной оптики с варьируемыми диоптриями и переменным фокусным расстоянием [61,94]. (включая оптофлюидные системы [95], возможно, в перспективе, с использованием собственных биожидкостей организма, в том числе, в формате имплантатов – микрофлюидных чипов [24] изменяемой формы). При этом происходит переход к адаптивной оптике. Аналогично, имплантаты с электросмачиваемой поверхностью, электросмачиваемые имплантаты стационарной формы (например, дентальные [137]) уступают место электросмачиваемым имплантатам изменяемой формы и варьируемой функциональности (в зависимости от того, какая из поверхностных сил или какой из поверхностных механизмов является объектом управления, а какой – управляющим или регулирующим звеном обратной связи). Этому соответствует спуск на клеточный уровень исследования и инженерии.

4. Переход на клеточный уровень обеспечения биосовместимости: от физики мягкой материи (soft matter) к биохимии

В настоящее время сосуществуют два тренда. Первый – создание мульти-микрофлюидных сеток, решеток, ячеек, матриц для тканевых конструкций с внедренными стволовыми клетками и факторами роста [183]. Такие структуры могут быть жесткими, ригидными и не имплантируемыми в организм, за исключением исследовательских версий, аналогичных имплантируемым камерам Иоганнсена для изучения процессов внутри организма, включая микроскопию фрагментов ткани, как это делается уже более полувека [70]). Второй тренд – это создание электросмачиваемых наноструктурированных скаффолдов [36], в том числе, биорезорбируемых, на основе мягких биомиметических материалов (soft matter biomimetic materials – как правило, мягкие, эластичные, пригодные к имплантации и биофункционализации внутри организма объекты). Таким образом, вопрос заключается только в подборе электросмачиваемого гибкого и адаптивно-управляемого материала, на основе которого можно достигнуть максимальной номенклатуры релевантных для биомедицинского приложения критериев. Например, в аспекте интеграции свойств динамической смачиваемости, мембранных свойств, электроактуации и пр. одним из наиболее подходящих материалов (если не наиболее эффективным) является поливинилиденфторид (ПВДФ) [67], о котором речь пойдет во второй части данного обзора, и на примере которого будут демонстрироваться многие из постулированных выше характеристик, ключевых для материаловедения активных материалов биомедицинского назначения в XXI веке.

В заключение первой части обзора, раскрывающей основные физико-химические механизмы и критерии биосовместимости и других биорелевантных свойств материалов, необходимо сказать несколько слов о химическом и биохимическом аспекте проблематики, который слабо связан с активностью полимерных имплантатов, и поэтому был рассмотрен поверхностно. Биохимическим критериям биосовместимости посвящено избыточное количество литературы со второй половины XX века по настоящее время [72,90,143], по причине чего мы на них останавливаться не будем. Однако, как показывает анализ литературы, к биохимическим критериям, начиная с последней четверти XX века, в силу молекулярно-биологической моды, часто относили и факторы клеточного отклика, не всегда сводимые к биохимии [150]. К числу этих факторов относится диффузия, в том числе, облегченная диффузия, и прочие специфические её формы.

Стандартными технологиями анализа биосовместимости *in vivo* и *in situ* являются агарозные тесты [135,148], то есть тесты с использованием пассивных биоинертных полимеров. Соответственно, экстраполировать результат подобного подхода на активный полимер, характеристики которого изменяются во времени, нецелесообразно. Аналогично обстоит дело с альгинатными, желатиновыми и гибридными тестами, в особенности, с учётом их пористой структуры / скаффолдной микротекстуры [151], которая у активных полимеров, в отличие от них, не является постоянной. Создание теории токсичности, а также теории диффузионной эффективности активных – реактивных и активируемых – полимеров на границе с биологической средой представляет собой особую задачу, включающую в себя, по определению, не только непринудительную диффузию или вымывание токсиканта или фармакологического агента из полимерного носителя стационарным потоком, но и индуцированное или активированное полем или параметрами среды высвобождение и элюирование соответствующих агентов, а следовательно, диффузию (в т.ч. электродиффузию) в поле с данными параметрами. В случае *in vitro*, например, в классических энзиматических сенсорах / электродах с диффузионным лимитированием [63], эта проблема стоит менее остро, однако при зависимости параметров отклика сенсора от параметров среды или внешних полей, меняется не только смысл измерения, но и класс измерений. Например, вместо хроматографии возникает электрохроматография или, в случае возникновения дополнительного градиента, метод биоанализа становится возможным интерпретировать как «градиентную гель-фильтрацию». Поскольку в организме, в силу критериев его компартиментализации, играют роль не аддитивные количества тех или иных биохимических конститuentов, а их удельные содержания и эффективности переноса в компартаментах или клетках, локализованных в заданной области, рационально анализировать любую биохимическую функцию, исходя из её диффузионной (и депонирующей) в веществе в компарimente, например, в случае обеспечивающем дальнейшую кумуляцию фармакологического или токсикологического эффекта) эффективности. С этой точки зрения, и биохимические аспекты использования перспективных активных полимеров в биомедицине можно свести, абстрагируясь от молекулярно-биологического аспекта проблематики, к диффузионным и реакционно-диффузионным механизмам (то есть, в конечном итоге, интегрировать, тем самым, проблему имплантации функционализируемых полимерных матриц [1] с проблемой гистогенеза / морфогенеза на контакте с ними, по Тьюрингу).

5. Комплексные критерии активных биосовместимых биомиметических имплантатов

Итак, резюмируя все изложенное выше, перечислим какими свойствами, отличающими его от пассивных биомедицинских материалов, должен обладать активный биосовместимый и биомиметический материал:

I. динамическая мембранная (электрофизическая => редокс-электрохимическая => электрофизиологическая) совместимость, в идеале стремящаяся к мембраномиметическому характеру умного материала, по Фендлеру [44], то есть, в пределе, близость эквивалентных схем мембран и мембраномиметических систем [9,23,32,45,117,120,158,164];

II. возбудимость (в биологических системах проявляющаяся в транспорте ионов [11,15,39,161] и переносе заряда [35,71,152,154]), следовательно, реактивность по отношению к внешним стимулам *sensu lato*;

III. совместимость параметров согласования и импедансов [17,21,30,42,47,50,106,112,114,118,125,136,144,153,162,181] в эквивалентных схемах мембраномиметического материала и контактирующих с ним биомембран;

IV. наличие всех релевантных типов сопряжения, то есть способов энергетического конвертирования, свойственных мембранам: электрохимического, электромеханического, [34,73,49,74,134] и др.;

V. способность к согласованному с параметрами клеточной среды и регулируемому ею / клетками пропусканию и высвобождению фармирепаратов (электродиффузии, электроосмосу) и варьируемой гидрофильностью / гидрофобностью (смачиваемостью), как это свойственно биологическим объектам [12,48,109,139,165];

Из данных фундаментальных свойств вытекает возможность реализации следующих свойств, значимых для биомедицинской техники и имплантологии активных имплантатов:

VI. способность к актуации, то есть к (электро)механической активности (пп. IV, V), как на уровне конформационной динамики ультрамикроструктуры и пор, «каналомиметиков» [5,14,20,99,130,140], так и на уровне материала или покрытия как интегрального целого [41,78,98,167], адекватно параметрам согласования (п. III), работающим в передаточной функции возбудимой среды (п. II), а значит, в её эквивалентной схеме;

VII. способность к сенсингу, основанному на реактивности (п. II) и преобразовании сигнала / энергии (согласно п. IV).

Итак, как было показано в предыдущей части, биосовместимость полимерных медицинских сред, входящих в контакт с тканями организма, должна обеспечиваться и контролироваться не только по химическим, но

и по физическим свойствам (таким, как: импедансные характеристики в диапазоне длин волн возбуждения; параметры двойного электрического слоя, входящие в описание конденсатора в эквивалентной схеме; эффективность преобразования форм сигнала в разных направлениях, в зависимости от того, в каком режиме и на каких принципах, преимущественно, работает «умный материал»). Несомненно, идеальным изоморфизмом по параметрам согласования и эквивалентным схемам к биологической ткани обладает сама биологическая ткань (что в теории подобия является автоморфизмом). Однако, если не претендовать на создание систем «wet artificial life», можно подобрать такие материалы, которые, не обладая функциональной полнотой воспроизведения биологической активности, будут адекватны биологическому прототипу по репрезентативному спектру функций, критериев подобия, дескрипторов, и, в силу этого набора свойств, совместимы с биологической тканью.

Деление на классы функционального подобия, а не на отдельные химические группы веществ, подчеркивает тот факт, что, при соблюдении «необходимого и достаточного» количества биомиметических свойств / критериев, можно брать в качестве реализации или иллюстрации данного принципа любой конкретный химический пример реализации этих свойств / критериев (чем больше можно их соблюсти – тем лучше). Этот тот же принцип, что срабатывает и в системотехническом определении strong artificial life, которая, согласно [119] (см. также критический анализ [93]), независима от субстрата реализации. С этих позиций в следующих частях данной статьи мы будем рассматривать различные примеры материалов, используемых в качестве сред для создания активных имплантатов.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №20-12-50344).

Список литературы / References

1. Alexandre E., Schmitt B., Boudjema K., Merrill E.W., Lutz P.J. Hydrogel networks of poly(ethylene oxide) star-molecules supported by expanded polytetrafluoroethylene membranes: characterization, biocompatibility evaluation and glucose diffusion characteristics. *Macromolecular Bioscience*, 2004, vol. 4, no. 7, pp. 639-648.
2. Allenstein U., Ma Y., Arabi-Hashemi A., Zink M., Mayr S.G. Fe–Pd based ferromagnetic shape memory actuators for medical applications: Biocompatibility, effect of surface roughness and protein coatings. *Acta Biomaterialia*, 2013, vol. 9, no. 3, pp. 5845-5853.

3. Altankov G., Grinnell F., Groth T. Studies on the biocompatibility of materials: Fibroblast reorganization of substratum-bound fibronectin on surfaces varying in wettability. *Journal of Biomedical Materials Research: An Official Journal of The Society for Biomaterials and The Japanese Society for Biomaterials*, 1996, vol. 30, no. 3, pp. 385-391.
4. Anderson A., McConville A., Davis J. Electrochemical bubble rip: A new approach to controlled drug release. *Electrochemistry Communications*, 2015, vol. 60, pp. 88-91.
5. Araya M.K., Brownell W.E. Facilitation of rapid temporal processing by ion channel cooperativity suggests coordination through membrane electromechanics. *Biophysical Journal*, 2016, vol. 110, no. 3, p. 108a.
6. Aspler J.S., Davis S., Lyne M.B. The dynamic wettability of paper. I: The effect of surfactants, alum, and pH on self-sizing. *Tappi Journal*, 1984, vol. 67, no. 9, pp. 128-131.
7. Aspler J.S., Davis S., Lyne M.B. The dynamic wettability of paper. I: The effect of surfactants, alum, and pH on self-sizing. *Tappi Journal*, 1984, vol. 67, no. 9, pp. 128-131.
8. Astumian R.D. Stochastic conformational pumping: A mechanism for free-energy transduction by molecules. *Annual Review of Biophysics*, 2011, vol. 40, pp. 289-313.
9. Atlam O., Kolhe M. Equivalent electrical model for a proton exchange membrane (PEM) electrolyser. *Energy Conversion and Management*, 2011, vol. 52, no. 8-9, pp. 2952-2957.
10. Ayobian-Markazi N., Karimi M., Safar-Hajhosseini A. Effects of Er: YAG laser irradiation on wettability, surface roughness, and biocompatibility of SLA titanium surfaces: An *in vitro* study. *Lasers in Medical Science*, 2015, vol. 30, no. 2, pp. 561-566.
11. Barnes S. Neuronal excitability: Membrane ion channels. In: *Handbook of Neuroprosthetic Methods*. Eds. Finn W.E., LoPresti P.G. Boca Raton: CRC Press, 2002, pp. 28-44.
12. Barrick D.M. Bacterial detachment from membranes: Effect of cell type, cell phase, membrane material, and membrane hydrophobicity. *Doct. Diss.* Lexington, 1994.
13. Bertini I., Cavallaro G. Metals in the “omics” world: Copper homeostasis and cytochrome *c* oxidase assembly in a new light. *JBIC Journal of Biological Inorganic Chemistry*, 2008, vol. 13, no. 1, pp. 3-14.
14. Beyder A., Sachs F. Combined voltage-clamp and atomic force microscope for the study of membrane electromechanics. *Scanning Probe Microscopy of Functional Materials*. New York: Springer, 2010, pp. 461-489.

15. Blaustein M.P. Phospholipids as ion exchangers: Implications for a possible role in biological membrane excitability and anesthesia. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes*, 1967, vol. 135, no. 4, pp. 653-668.
16. Bona M.D., Arthur B.W. Cyanoacrylate tissue adhesive on a polyglactin scaffold in strabismus surgery: A laboratory study. *Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, 2014, vol. 18, no. 1, pp. 21-25.
17. Bordi F., Cametti C., Gliozzi A. Impedance measurements of self-assembled lipid bilayer membranes on the tip of an electrode. *Bioelectrochemistry*, 2002, vol. 57, no. 1, pp. 39-46.
18. Boyadzhieva S., Sorg K., Danner M., Fischer S.C., Hensel R., Schick B., Wenzel G., Arzt E., Kruttwig K. A self-adhesive elastomeric wound scaffold for sensitive adhesion to tissue. *Polymers*, 2019, vol. 11, no. 6, p. 942.
19. Brinkert K., Le Formal F., Li X., Durrant J., Rutherford A.W., Fantuzzi A. Photocurrents from photosystem II in a metal oxide hybrid system: Electron transfer pathways. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 2016, vol. 1857, no. 9, pp. 1497-1505.
20. Brownell W.E., Farrell B., Raphael R.M. Membrane electromechanics at hair-cell synapses. *Biophysics of the Cochlea: From Molecules to Models*, 2003, pp. 169-176.
21. Buck R.P. Diffusion-migration impedances for finite, one-dimensional transport in thin layer and membrane cells: An analysis of derived electrical quantities and equivalent circuits. *Journal of Electroanalytical Chemistry and Interfacial Electrochemistry*, 1986, vol. 210, no. 1, pp. 1-19.
22. Cha G.S., Liu D., Meyerhoff M.E., Cantor H.C., Midgley A.R., Goldberg H.D., Brown R.B. Electrochemical performance, biocompatibility, and adhesion of new polymer matrixes for solid-state ion sensors. *Analytical Chemistry*, 1991, vol. 63, no. 17, pp. 1666-1672.
23. Chang W.Y. Estimating equivalent circuit parameters of proton exchange membrane fuel cell using the current change method. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2013, vol. 53, pp. 584-591.
24. Chen J.H. Investigation of electrowetting dynamic contact angle in capillary flow and application of electrowetting to biochips and lens fabrication. Diss., 2006, (China ref.).
25. Chen L., Bonaccorso E. Effects of surface wettability and liquid viscosity on the dynamic wetting of individual drops. *Physical Review E*, 2014, vol. 90, no. 2, p. 022401.
26. Chen X., Fung Y.M.E., Chan W.Y.K., Wong P.S., Yeung H.S., Chan T.W.D. Transition metal ions: charge carriers that mediate the electron capture dissociation

- pathways of peptides. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, 2011, vol. 22, no. 12, pp. 2232-2245.
27. Collman J.P., Boulatov R. When two metals are better than one: Biomimetic studies of dioxygen reduction at the bimetallic site of cytochrome oxidase. In *Abstracts of Papers of the American Chemical Society*, 2002, vol. 224, p. 683.
 28. Cook J.A., Gius D., Wink D.A., Krishna M.C., Russo A., Mitchell J.B. Oxidative stress, redox, and the tumor microenvironment. *Seminars in Radiation Oncology*, 2004, vol. 14, no. 3, pp. 259-266.
 29. Cordonnier D.J., Forêt M. Biocompatibility criteria in hemodialysis. *Present-Day Concepts in the Treatment of Chronic Renal Failure*, 1989, vol. 71, pp. 30-35.
 30. Coster H.G.L., Chilcott T.C., Coster A.C.F. Impedance spectroscopy of interfaces, membranes and ultrastructures. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 1996, vol. 40, no. 2, pp. 79-98.
 31. Craig R.G., Hanks C.T. Cytotoxicity of experimental casting alloys evaluated by cell culture tests. *Journal of Dental Research*, 1990, vol. 69, no. 8, pp. 1539-1542.
 32. Demoz A., Verpoorte E.M.J., Harrison D.J. An equivalent circuit model of ion-selective membrane|insulator|semiconductor interfaces used for chemical sensors. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 1995, vol. 389, no. 1-2, pp. 71-78.
 33. Deng L., Li Y., Feng F., Zhang H. Study on wettability, mechanical property and biocompatibility of electrospun gelatin/zein nanofibers cross-linked by glucose. *Food Hydrocolloids*, 2019, vol. 87, pp. 1-10.
 34. Deng P., Lee Y.K., Zhang T.Y. A nonlinear electromechanical coupling model for electropore expansion in cell electroporation. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2014, vol. 47, no. 44, p. 445401.
 35. Dermol-Černe, J., Miklavčič, D., Reberšek, M., Mekuč, P., Bardet, S.M., Burke R., Arnaud-Cormos D., Leveque P., O'Connor R. Plasma membrane depolarization and permeabilization due to electric pulses in cell lines of different excitability. *Bioelectrochemistry*, 2018, vol. 122, pp. 103-114.
 36. Dhindsa M.S. Reversible electrowetting on nanostructured scaffolds. *Doct. Diss. Cincinnati*, 2006, X p.
 37. Djordjevic I., Szili E.J., Choudhury N.R., Dutta N., Steele D.A., Kumar S. Osteoblast biocompatibility on poly (octanediol citrate)/sebacate elastomers with controlled wettability. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 2010, vol. 21, no. 8-9, pp. 1039-1050.
 38. Dubey A.K., Balani K., Basu B. 18. Electrically active biocomposites as smart scaffolds for bone tissue engineering. In *Woodhead Publishing Series in Bio-*

- materials, Nanomedicine*. Webster T.J. (Ed.). Woodhead Publishing, 2012, pp. 537-570.
39. Duclouhier H., Spach G. Artificial membrane excitability revisited and implications for the gating of voltage-dependent ion channels. *General Physiology and Biophysics*, 2001, vol. 20, no. 4, pp. 361-374.
 40. Eisenbarth E., Velten D., Breme J. Biomimetic implant coatings. *Biomolecular Engineering*, 2007, vol. 24, no. 1, pp. 27-32.
 41. Eisenberg S.R. Time and space periodic collagen membrane electromechanics. *Diss.* Cambridge, 1977.
 42. Ervin E.N., White H.S., Baker L.A. Alternating current impedance imaging of membrane pores using scanning electrochemical microscopy. *Analytical Chemistry*, 2005, vol. 77, no. 17, pp. 5564-5569.
 43. Feldman D.S., Osborne S. Fibrin as a tissue adhesive and scaffold with an angiogenic agent (FGF-1) to enhance burn graft healing *in vivo* and clinically. *Journal of Functional Biomaterials*, 2018, vol. 9, no. 4, p. 68.
 44. Fendler J.H. Potential of membrane-mimetic polymers in membrane technology. *Journal of Membrane Science*, 1987, vol. 30, no. 3, pp. 323-346.
 45. Finkelstein A., Mauro A. Equivalent circuits as related to ionic systems. *Biophysical Journal*, 1963, vol. 3, no. 3, pp. 215-237.
 46. Folkman J. Controlled drug release from polymers. *Hospital Practice*, 1978, vol. 13, no. 3, pp. 127-33.
 47. Freger V. Diffusion impedance and equivalent circuit of a multilayer film. *Electrochemistry Communications*, 2005, vol. 7, no. 9, pp. 957-961.
 48. Fritzsche G., Rumrich G., Ullrich K. J. Anion transport through the contraluminal cell membrane of renal proximal tubule. The influence of hydrophobicity and molecular charge distribution on the inhibitory activity of organic anions. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes*, 1989, vol. 978, no. 2, pp. 249-256.
 49. Gallagher P.M., Athayde A.L., Ivory C.F. Electrochemical coupling in carrier-mediated membrane transport. *Journal of Membrane Science*, 1986, vol. 29, no. 1, pp. 49-67.
 50. Gao Y., Li W., Lay W.C., Coster H.G., Fane A.G., Tang C.Y. Characterization of forward osmosis membranes by electrochemical impedance spectroscopy. *Desalination*, 2013, vol. 312, pp. 45-51.
 51. Ge J., Neofytou E., Cahill III T.J., Beygui R.E., Zare R.N. Drug release from electric-field-responsive nanoparticles. *ACS Nano*, 2012, vol. 6, no. 1, pp. 227-233.
 52. Gourdon E., Lamarque C.H. Energy pumping with various nonlinear structures: Numerical evidences. *Nonlinear Dynamics*, 2005, vol. 40, no. 3, pp. 281-307.

53. Gu H., Mu S., Qiu G., Liu X., Zhang L., Yuan Y., Astruc D. Redox-stimuli-responsive drug delivery systems with supramolecular ferrocenyl-containing polymers for controlled release. *Coordination Chemistry Reviews*, 2018, vol. 364, pp. 51-85.
54. Guidelli R., Becucci L. Electrochemistry of Biomimetic Membranes. In *Applications of Electrochemistry and Nanotechnology in Biology and Medicine II*. Boston, MA: Springer, 2012, pp. 147-266.
55. Guo X., Cheng Y., Zhao X., Luo Y., Chen J., Yuan W.E. Advances in redox-responsive drug delivery systems of tumor microenvironment. *Journal of Nanobiotechnology*, 2018, vol. 16, no. 1, pp. 1-10.
56. Habibovic P., Barrere F., Van Blitterswijk C.A., de Groot K., Layrolle P. Biomimetic hydroxyapatite coating on metal implants. *Journal of the American Ceramic Society*, 2002, vol. 85, no. 3, pp. 517-22.
57. Haldar R.S., Chauhan R., Kapoor K., Niyogi U.K. Development of a hydrophobic polymer composition with improved biocompatibility for making foldable intraocular lenses. *Optical Materials*, 2014, vol. 36, no. 7, pp. 1165-1176.
58. Han S., Zhou Z., Jiang H., Zhang Y. Enzyme pretreatments and dynamic wettability of a poplar surface. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2009, vol. 26, no. 6, pp. 774-777.
59. Hanson L.K., Chang C.K., Davis M.S., Fajer J. Electron pathways in catalase and peroxidase enzymic catalysis. Metal and macrocycle oxidations of iron porphyrins and chlorins. *Journal of the American Chemical Society*, 1981, vol. 103, no. 3, pp. 663-70.
60. Hardy J.G., Lee J.Y., Schmidt C.E. Biomimetic conducting polymer-based tissue scaffolds. *Current Opinion in Biotechnology*, 2013, vol. 24, no. 5, pp. 847-854.
61. Hendriks B.H.W., Kuiper S., As M.V., Renders C.A., Tukker T.W. Electrowetting-based variable-focus lens for miniature systems. *Optical Review*, 2005, vol. 12, no. 3, pp. 255-259.
62. Hezi-Yamit A., Sullivan C., Wong J., David L., Chen M., Cheng P., Shumaker D., Wilcox J.N. Udipi K. Impact of polymer hydrophilicity on biocompatibility: Implication for DES polymer design. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 2009, vol. 90, no. 1, pp. 133-141.
63. Higson S.P.J., Vadgama P.M. Diamond like carbon coated films for enzyme electrodes; characterization of biocompatibility and substrate diffusion limiting properties. *Analytica Chimica Acta*, 1995, vol. 300, no. 1-3, pp. 77-83.
64. Holmes C.J. Criteria for biocompatibility testing of peritoneal dialysis solutions. *Quality Assurance in Dialysis*. Dordrecht: Springer, 1999, pp. 257-265.
65. Hossain M.M., Gao W. How is the surface treatments influence on the roughness of biocompatibility? *Trends in Biomaterials and Artificial Organs*, 2009, vol. 22, no. 3, pp. 140-154.

66. Hosseini M.J., Shaki F., Ghazi-Khansari M., Pourahmad J. Toxicity of vanadium on isolated rat liver mitochondria: a new mechanistic approach. *Metallomics*, 2013, vol. 5, no. 2, pp. 152–166.
67. Huang F.L., Wang Q.Q., Wei Q.F., Gao W.D., Shou H.Y., Jiang S. Dynamic wettability and contact angles of poly (vinylidene fluoride) nanofiber membranes grafted with acrylic acid. *Express Polymer Letters*, 2010, vol. 4, no. 9, pp. 551–558.
68. Imai Y., Watanabe A., Masuhara E. Effect of roughness of materials on biocompatibility. *Artificial Organs*, 1981, vol. 5, no. 3, pp. 309–309.
69. Inganäs O. Electroactive polymers in redox devices—from printed electrochemical hybrid systems to soft matter actuators and electrical biointerfaces. In: International Electrochemical Society. 2006, p. ID57714.
70. Iogannsen M.G. *Microscopy of living tissues in implantable chambers*. Ed. Pliss G.B. Leningrad: Nauka [Science], 1980, 144 p.
71. Isaev D., Isaeva O., Khazipov R., Holmes G. Neuroaminidase via regulation of surface charge controls neuronal and network excitability in the rat hippocampus. *Epilepsia*, 2006, vol. 47, pp. 192–193.
72. Işıkver Y., Saraydın D., Aydın H. *In vitro* swelling studies in simulated physiological solutions and biocompatibility of NIPAM-based hydrogels with some biochemical parameters of human sera. *Journal of Macromolecular Science, Part A*, 2017, vol. 54, no. 7, pp. 452–457.
73. Iwasa K.H. Electromechanical coupling in the outer hair cell: A statistical thermodynamic examination. *Biophysical Journal*, 1998, vol. 74, no. 2, pp. A86–A86.
74. Iwasa K.H. Negative membrane capacitance of outer hair cells: Electromechanical coupling near resonance. *Scientific Reports*, 2017, vol. 7, no. 1, pp. 1–8.
75. Jadhav O.S., Yuan C.D., Rudnyi E., Hohlfeld D., Bechtold T. Nonlinear model order reduction of thermoelectric generator for electrically active implants. *International Journal of Bioelectromagnetism*, 2018, vol. 20, pp. 5–7.
76. Jeon I.D., Park K.M., Choi E.P., Park J.Y., Park Y.D., Shin H. Development of scaffold-free tissue constructs with anisotropic cellular assembly using micro-patterned cell-adhesive hydrogels. *Korean Polymer Society Research Paper*, 2011, vol. 36, no. 1, p. 11.
77. Jiao K., Li X. Effect of surface dynamic wettability in proton exchange membrane fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2010, vol. 35, no. 17, pp. 9095–9103.
78. Joe K.L.C. Electromechanics: An analytic solution for graded biological cell under inhomogeneous field. *Chemistry and Physics of Lipids*, 2007, no. 149, p. 75.

79. Jones D.P., Sies H. The redox code. *Antioxidants & Redox Signaling*, 2015, vol. 23, no. 9, pp. 734-746.
80. Jun I.K., Hess H. A Biomimetic, Self-Pumping Membrane. *Advanced Materials*, 2010, vol. 22, no. 43, pp. 4823-4825.
81. Justin G., Finley S., Rahman A.R.A., Guiseppi-Elie A. Biomimetic hydrogels for biosensor implant biocompatibility: electrochemical characterization using micro-disc electrode arrays (MDEAs). *Biomedical Microdevices*, 2009, vol. 11, no. 1, pp. 103-115.
82. Kang Y., Ju X., Ding L.S., Zhang S., Li B.J. Reactive oxygen species and glutathione dual redox-responsive supramolecular assemblies with controllable release capability. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2017, vol. 9, no. 5, pp. 4475-4484.
83. Kansu G., Aydin A.K. Evaluation of the biocompatibility of various dental alloys: Part I-Toxic potentials. *European Journal of Prosthodontics and Restorative Dentistry*, 1996, vol. 4, no. 3, pp. 129-136.
84. Ketelson H.A., Meadows D.L., Stone R.P. Dynamic wettability properties of a soft contact lens hydrogel. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2005, vol. 40, no. 1, pp. 1-9.
85. Kim S.Y., Lee Y.M. Drug release behavior of electrical responsive poly (vinyl alcohol)/poly (acrylic acid) IPN hydrogels under an electric stimulus. *Journal of Applied Polymer Science*, 1999, vol. 74, no. 7, pp. 1752-1761.
86. Kusoglu A., Weber A.Z. Electrochemical/mechanical coupling in ion-conducting soft matter. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 2015, vol. 6, no. 22, pp. 4547-4552.
87. Kwon I.C., Bae Y.H., Okano T., Kim S.W. Drug release from electric current sensitive polymers. *Journal of Controlled Release*, 1991, vol. 17, no. 2, pp. 149-156.
88. Langer R., Folkman J. Polymers for the sustained release of proteins and other macromolecules. *Nature*, 1976, vol. 263, no. 5580, pp. 797-800.
89. Lee M.H., Oh N.S., Lee S.W., Kang J.H., Lee S.C., Leesungbok R. Enhancement of dynamic wettability, cell adhesion, and alkaline phosphatase activity of primary cells on titanium substrata with combined surface topographies of microgrooves and acid-etched roughness. *Tissue Engineering and Regenerative Medicine*, 2010, vol. 7, no. 5, pp. 501-512.
90. Lee Y.J., Son H.S., Jung G.B., Kim J.H., Choi S., Lee G.J., Park H.K. Enhanced biocompatibility and wound healing properties of biodegradable polymer-modified allyl 2-cyanoacrylate tissue adhesive. *Materials Science and Engineering: C*, 2015, vol. 51, pp. 43-50.
91. Lennicke C., Rahn J., Lichtenfels R., Wessjohann L.A., Seliger B. Hydrogen peroxide—production, fate and role in redox signaling of tumor cells. *Cell Communication and Signaling*, 2015, vol. 13, no. 1, pp. 1-19.

92. Leung K.C.F., Xuan S., Lo C.M. Reversible switching between hydrophilic and hydrophobic superparamagnetic iron oxide microspheres via one-step supra-molecular dynamic dendronization: Exploration of dynamic wettability. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2009, vol. 1, no. 9, pp. 2005-2012.
93. Li J. On the possibility of strong artificial life. *Open Journal of Philosophy*, 2018, vol. 8, no. 5, pp. 495-505.
94. Li L., Liu C., Ren H., Wang Q.H. Optical switchable electrowetting lens. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2016, vol. 28, no. 14, pp. 1505-1508.
95. Li L., Wang J.H., Wang Q.H., Wu S.T. Displaceable and focus-tunable electrowetting optofluidic lens. *Optics Express*, 2018, vol. 26, no. 20, pp. 25839-25848.
96. Li X., Fan X., Askounis A., Wu K., Sefiane K., Koutsos V. An experimental study on dynamic pore wettability. *Chemical Engineering Science*, 2013, vol. 104, pp. 988-997.
97. Li Y.F., Chen C., Qu Y., Gao Y., Li B., Zhao Y., Chai Z. Metallomics, elementomics, and analytical techniques. *Pure and Applied Chemistry*, 2008, vol. 80, no. 12, pp. 2577-2594.
98. Lipchinsky A. Electromechanics of polarized cell growth. *Biosystems*, 2018, no. 173, pp. 114-132.
99. Loubet B., Hansen P.L., Lomholt M.A. Electromechanics of a membrane with spatially distributed fixed charges: Flexoelectricity and elastic parameters. *Physical Review E*, 2013, vol. 88, no. 6, p. 062715.
100. Lu G. Bulk dissipation in nanofluid dynamic wetting: Wettability-related parameters. *Dynamic Wetting by Nanofluids*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2016, pp. 59-76.
101. Luo X., Cui X.T. Electrochemically controlled release based on nanoporous conducting polymers. *Electrochemistry Communications*, 2009, vol. 11, no. 2, pp. 402-404.
102. Luo X., Cui X.T. Sponge-like nanostructured conducting polymers for electrically controlled drug release. *Electrochemistry Communications*, 2009, vol. 11, no. 10, pp. 1956-1959.
103. Machts R., Reuter T., Prokop P.V., Schewtschenko O., Stubenrauch M., Schilling C., Witte H. Energy harvesting for active implants: powering a ruminal pH-monitoring system. *Current Directions in Biomedical Engineering*, 2015, vol. 1, no. 1, pp. 18-21.
104. Massoumi B., Abbasian M., Jahanban-Esfahlan R., Mohammad-Rezaei R., Khalilzadeh B., Samadian H., Rezaei A., Derakhshankhah H., Jaymand M. A novel bio-inspired conductive, biocompatible, and adhesive terpolymer based on polyaniline, polydopamine, and polylactide as scaffolding biomaterial for

- tissue engineering application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, vol. 147, pp. 1174-1184.
105. Masuda R., Mochizuki M., Hozumi K., Takeda A., Uchinuma E., Yamashina S., Nomizu M., Kadoya Y. A novel cell-adhesive scaffold material for delivering keratinocytes reduces granulation tissue in dermal wounds. *Wound Repair and Regeneration*, 2009, vol. 17, no. 1, pp. 127-135.
 106. McAdams E.T., Jossinet J. Tissue impedance: a historical overview. *Physiological Measurement*, 1995, vol. 16, no. 3A, p. A1.
 107. Messer, R. L., Lucas, L.C. Cytotoxicity of nickel–chromium alloys: Bulk alloys compared to multiple ion salt solutions. *Dental Materials*, 2000, vol. 16, no. 3, pp. 207-212.
 108. Mizrahi B., Weldon C., Kohane D.S. Tissue adhesives as active implants. In *Active implants and scaffolds for tissue regeneration*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2010, pp. 39-56.
 109. Moghaddam M.S., Heiny M., Shastri V.P. Enhanced cellular uptake of nanoparticles by increasing the hydrophobicity of poly (lactic acid) through copolymerization with cell-membrane-lipid components. *Chemical Communications*, 2015, vol. 51, no. 78, pp. 14605-14608.
 110. Morro A., Abrusci C., Pablos J.L., Marin I., Garcia F.C., Garcia J.M. Inherent antibacterial activity and *in vitro* biocompatibility of hydrophilic polymer film containing chemically anchored sulfadiazine moieties. *European Polymer Journal*, 2017, vol. 91, pp. 274-282.
 111. Mounicou S., Szpunar J., Lobinski R. Metallomics: The concept and methodology. *Chemical Society Reviews*, 2009, vol. 38, no. 4, pp. 1119-1138.
 112. Moya A.A. Electric circuits modelling the low-frequency impedance of ideal ion-exchange membrane systems. *Electrochimica Acta*, 2012, vol. 62, pp. 296-304.
 113. Murdan S. Electro-responsive drug delivery from hydrogels. *Journal of Controlled Release*, 2003, vol. 92, no. 1-2, pp. 1-17.
 114. Naumowicz M., Kotynska J., Petelska A., Figaszewski Z. Impedance analysis of phosphatidylcholine membranes modified with valinomycin. *European Biophysics Journal*, 2006, vol. 35, no. 3, pp. 239-246.
 115. Nazaruk E., Majkowska-Pilip A., Godlewska M., Salamończyk M., Gawel D. Electrochemical and biological characterization of lyotropic liquid crystalline phases—retardation of drug release from hexagonal mesophases. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 2018, vol. 813, pp. 208-215.
 116. Nieto A., Colilla M., Balas F., Vallet-Regi M. Surface electrochemistry of mesoporous silicas as a key factor in the design of tailored delivery devices. *Langmuir*, 2010, vol. 26, no. 7, pp. 5038-5049.

117. Nikonenko V.V., Kozmai A.E. Electrical equivalent circuit of an ion-exchange membrane system. *Electrochimica Acta*, 2011, vol. 56, no. 3, pp. 1262-1269.
118. Niya S.M.R., Hoorfar M. Study of proton exchange membrane fuel cells using electrochemical impedance spectroscopy technique. A review. *Journal of Power Sources*, 2013, vol. 240, pp. 281-293.
119. Olson E.T. The ontological basis of strong artificial life. *Artificial Life*, 1997, vol. 3, no. 1, pp. 29-39.
120. Omura Y., Herter F.P., Albert C., Nisteruk C. Electrocardiograms obtained from an equivalent circuit of the cardiac cell membrane by supplying artificially composed membrane action potentials. *ASAIO Journal*, 1964, vol. 10, no. 1, pp. 302-310.
121. Otero T.F., Alfaro M., Martinez V., Perez M.A., Martinez J.G. Biomimetic structural electrochemistry from conducting polymers: Processes, charges, and energies. Coulovoltammetric results from films on metals revisited. *Advanced Functional Materials*, 2013, vol. 23, no. 31, pp. 3929-3940.
122. Otero T.F., Martinez J.G., Arias-Pardilla J. Biomimetic electrochemistry from conducting polymers. A review: artificial muscles, smart membranes, smart drug delivery and computer/neuron interfaces. *Electrochimica Acta*, 2012, vol. 84, pp. 112-128.
123. Ottolini G. Definition and control of the biocompatibility of a new hydrophilic polymer. *Ophthalmic Optics*, 1986, vol. 601, pp. 148-154.
124. Owicki J.C., Parce J.W. Biosensors based on the energy metabolism of living cells: The physical chemistry and cell biology of extracellular acidification. *Biosensors and Bioelectronics*, 1992, vol. 7, no. 4, pp. 255-272.
125. Park J.S., Choi J.H., Yeon K.H., Moon S.H. An approach to fouling characterization of an ion-exchange membrane using current–voltage relation and electrical impedance spectroscopy. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2006, vol. 294, no. 1, pp. 129-138.
126. Peng L., Feng A., Huo M., Yuan J. Ferrocene-based supramolecular structures and their applications in electrochemical responsive systems. *Chemical Communications*, 2014, vol. 50, no. 86, pp. 13005-13014.
127. Pervaiz S., Clement M.V. Tumor intracellular redox status and drug resistance-serendipity or a causal relationship? *Current Pharmaceutical Design*, 2004, vol. 10, no. 16, pp. 1969-1977.
128. Pommer A., Köller M., Hahn M.P., Muhr G. Effect of different processing modalities on cytotoxicity and biocompatibility of shape memory alloys. *European Surgical Research*, 1999, vol. 31, no. 1, pp. 169.
129. Pypen C., Leenders H., Gomes P.M., Dekkers R., Helsen J., Plenck J.H., De Bruijn J.D. *In-vitro* cytotoxicity and bone biocompatibility of powder metal-

- lurgically produced cp. Nb and Nb-Mo alloys. *Proc. 25th Annual Meeting of the Society for Biomaterials. Publ. Society for Biomaterials*, 1999, p. 588.
130. Qian F., Ermilov S., Murdock D., Brownell W.E., Anvari B. Combining optical tweezers and patch clamp for studies of cell membrane electromechanics. *Review of Scientific Instruments*, 2004, vol. 75, no. 9, pp. 2937-2942.
 131. Qin Y., Li X., Yin Y. Modeling of liquid water transport in a proton exchange membrane fuel cell gas flow channel with dynamic wettability. *International Journal of Energy Research*, 2018, vol. 42, no. 10, pp. 3315-3327.
 132. Rahimpour S., Salahinejad E., Sharifi E., Nosrati H., Tayebi L. Structure, wettability, corrosion and biocompatibility of nitinol treated by alkaline hydrothermal and hydrophobic functionalization for cardiovascular applications. *Applied Surface Science*, 2020, vol. 506, p. 144657.
 133. Raine D.J., Norris V. Network structure of metabolic pathways. *Journal of Biological Physics and Chemistry*, 2011, vol. 1, pp. 89-94.
 134. Reinecke H., MacDonald G.H., Hauschka S.D., Murry C.E. Electromechanical coupling between skeletal and cardiac muscle: Implications for infarct repair. *The Journal of cell biology*, 2000, vol. 149, no. 3, pp. 731-740.
 135. Rickert D., Lendlein A., Kelch S., Fuhrmann R., Franke R.P. Detailed evaluation of the agarose diffusion test as a standard biocompatibility procedure using an image analysis system. Influence of plasma sterilization on the biocompatibility of a recently developed photoset-polymer. *Biomedizinische Technik*, 2002, vol. 47, no. 11, pp. 285-289.
 136. Römer W., Steinem C. Impedance analysis and single-channel recordings on nano-black lipid membranes based on porous alumina. *Biophysical Journal*, 2004, vol. 86, no. 2, pp. 955-965.
 137. Rosen P.S., Sahlin H., Seemann R., Rosen A.S. A 1–7 year retrospective follow-up on consecutively placed 7-mm-long dental implants with an electrowetted surface. *International Journal of Implant Dentistry*, 2018, vol. 4, no. 1, pp. 1-6.
 138. Rupp F., Scheideler L., Rehbein D., Axmann D., Geis-Gerstorfer J. Roughness induced dynamic changes of wettability of acid etched titanium implant modifications. *Biomaterials*, 2004, vol. 25, no. 7-8, pp. 1429-1438.
 139. Ryu Y.S., Kim M.H. Model membrane-mediated cell alignment through surface hydrophobicity. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 2016, vol. 636, no. 1, pp. 149-154.
 140. Sachs F., Brownell W.E., Petrov A.G. Membrane electromechanics in biology, with a focus on hearing. *MRS Bulletin*, 2009, vol. 34, no. 9, pp. 665-670.
 141. San Roman J. Polymeric biomaterials in vascular surgery. I. Structure and morphology of the cardiovascular system, criteria of biocompatibility and

- behaviour of implants in contact with blood. *Revista de Plasticos Modernos*, 1994, vol. 67, no. 451, pp. 33-51.
142. Sankoh S., Vagin M.Y., Sekretaryova A.N., Thavarungkul P., Kanatharana P., Mak W.C. Colloid electrochemistry of conducting polymer: towards potential-induced in-situ drug release. *Electrochimica Acta*, 2017, vol. 228, pp. 407-412.
 143. Saraydin D., Karadag B., Cetinkaya S., Güven O. Preparation of acrylamide/ma-leic acid hydrogels and their biocompatibility with some biochemical parameters of human serum. *Physics and Chemistry*, 1995, vol. 46, no. 4-6, pp. 1049-1052.
 144. Schmitt E.K., Weichbrodt C., Steinem C. Impedance analysis of gramicidin D in pore-suspending membranes. *Soft Matter*, 2009, vol. 5, no. 17, pp. 3347-3353.
 145. Schneemilch M., Welters W.J., Hayes R.A., Ralston J. Electrically induced changes in dynamic wettability. *Langmuir*, 2000, vol. 16, no. 6, pp. 2924-2927.
 146. Sergeeva N.S., Sviridova I.K., Frank G.A., Kirsanova V.A., Akhmedova S.A., Popov A.A. Criteria of biocompatibility of materials for bone defect repair. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, 2014, vol. 157, no. 5, pp. 689-694.
 147. Shi W., Chance M.R. Metallomics and metalloproteomics. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 2008, vol. 65, no. 19, pp. 3040-3048.
 148. Shivasiddaramaiah A.G., Mallik U.S., Mahato R., Shashishekar C., Shivaramu L., Prashantha S. Evaluation of biocompatibility of Cu-Al-Be-Mn quaternary shape memory alloys using antibacterial test by agarwell diffusion method. *Materials Today: Proceedings*, 2019, vol. 17, pp. 61-69.
 149. Sittinger M., Reitzel D., Dauner M., Hierlemann H., Hammer C., Kastenbauer E., Planck H., Burmester G.R., Bujia J. Resorbable polyesters in cartilage engineering: Affinity and biocompatibility of polymer fiber structures to chondrocytes. *Journal of Biomedical Materials Research: An Official Journal of The Society for Biomaterials and The Japanese Society for Biomaterials*, 1996, vol. 33, no. 2, pp. 57-63.
 150. Solomons C.C., Handrich E.M. Platelet biochemistry and function. Possible use in evaluating biocompatibility. *Polymer Science Technology*, 1975, vol. 7, pp. 9-16.
 151. Song K., Li L., Li R., Lim M., Liu P., Liu T. Preparation, mass diffusion, and biocompatibility analysis of porous-channel controlled calcium-alginate-gelatin hybrid microbeads for *in vitro* culture of NSCs. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2014, vol. 173, no. 3, pp. 838-850.
 152. Sperlakis N., Kallour B. Effect of variation in membrane excitability on propagation velocity of simulated action potentials for cardiac muscle and smooth muscle in the electric field model for cell-to-cell transmission of excitation. *IEEE transactions on biomedical engineering*, 2004, vol. 51, no. 12, pp. 2216-2219.
 153. Steinem C., Janshoff A., Ulrich W.P., Sieber M., Galla H.J. Impedance analysis of supported lipid bilayer membranes: A scrutiny of different preparation

- techniques. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes*, 1996, vol. 1279, no. 2, pp. 169-180.
154. Stevens C.F. Interactions between intrinsic membrane protein and electric field. An approach to studying nerve excitability. *Biophysical Journal*, 1978, vol. 22, no. 2, pp. 295-306.
 155. Stratta P., Canavese C., Segoloni G.P., Dogliani M., Racca M., Coppo R., Vercellone A. Criteria of the biocompatibility of the membranes used in dialysis. *Minerva Nefrologica*, 1981, vol. 28, no. 2, pp. 109-111.
 156. Sun T., Qing G. Biomimetic smart interface materials for biological applications. *Advanced Materials*, 2011, vol. 23, no. 12, pp. 57-77.
 157. Tagaya M., Okano S., Murataka T., Handa H., Ichikawa S., Takahashi S. Biocompatibility of a polymer-coated membrane possessing a hydrophilic blood-contacting layer: Adsorption-related assessment. *The International Journal of Artificial Organs*, 2020, vol. 43, no. 6, pp. 405-410.
 158. Tarr M., Trank J. Equivalent circuit of frog atrial tissue as determined by voltage clamp-unclamp experiments. *The Journal of General Physiology*. 1971, vol. 58, no. 5, pp. 511-522.
 159. Tatsuma T., Takada K., Matsui H., Oyama N. Electrochemically controllable phase transition and thermally controllable electrochemistry. *Macromolecules*, 1994, vol. 27, no. 22, pp. 6687-6689.
 160. Tejero R., Anitua E., Orive G. Toward the biomimetic implant surface: Biopolymers on titanium-based implants for bone regeneration. *Progress in Polymer Science*, 2014, vol. 39, no. 7, pp. 1406-1447.
 161. Terakawa S. Excitability of squid axon membrane in the absence of ion-concentration gradient across the membrane. *Upsala Journal of Medical Sciences*, 1980, vol. 85, no. 3, pp. 217-224.
 162. Terrettaz S., Stora T., Duschl C., Vogel H. Protein binding to supported lipid membranes: investigation of the cholera toxin-ganglioside interaction by simultaneous impedance spectroscopy and surface plasmon resonance *Langmuir*, 1993, vol. 9, no. 5, pp. 1361-1369.
 163. Thanonkaew A., Benjakul S., Visessanguan W., Decker E.A. The effect of metal ions on lipid oxidation, colour and physicochemical properties of cuttlefish (*Sepia pharaonis*) subjected to multiple freeze-thaw cycles. *Food Chemistry*, 2006, vol. 95, no. 4, pp. 591-599.
 164. Tomioka Y., Takashima S., Moriya M., Shimada H., Hirose F., Hirano-Iwata A., Mizugaki Y. Equivalent circuit model modified for free-standing bilayer lipid membranes beyond 1 TΩ. *Japanese Journal of Applied Physics*, 2019, vol. 58, no. SD, p. SDDK02.

165. Tsubata T., Tezuka T., Kurane R. Change of cell membrane hydrophobicity in a bacterium tolerant to toxic alcohols. *Canadian Journal of Microbiology*, 1997, vol. 43, no. 3, pp. 295-299.
166. Udipi K., Hezi-Yamit A., Chen M., Cheng P., Wong J., Sullivan C., Wilcox J.N. Importance of polymer hydrophilicity/hydrophobicity on biocompatibility of DES coatings. *American Journal of Cardiology*, 2007, vol. 100, no. 8 A, pp. 162L-162L.
167. Usyk T.P., Belik M.E., Michailova A., McCulloch A.D. Three-dimensional model of cardiac electromechanics: Cell to organ // Proceedings of the Second Joint 24th Annual Conference and the Annual Fall Meeting of the Biomedical Engineering Society, 2002, pp. 1220-1221.
168. Vallejo-Giraldo C., Kelly A., Biggs M.J.P. Biofunctionalisation of electrically conducting polymers. *Drug Discovery Today*, 2014, vol. 19, no. 1, pp. 88-94.
169. Wang G., Yu Y.L., Yu W.J. Effects of temperature on the dynamic adhesive wettability of PF resin on bamboo surface. *Journal of Beijing Forestry University*, 2007, vol. 29, no. 3, pp. 149-153.
170. Wang X., Wang F., Yu Z., Zhang Y., Qi C., Du L. Surface free energy and dynamic wettability of wood simultaneously treated with acidic dye and flame retardant. *Journal of Wood Science*, 2017, vol. 63, no. 3, pp. 271-280.
171. Wei C., Pan W.J., Hung M.S. The effects of substrate roughness and associated surface properties on the biocompatibility of diamond-like carbon films. *Surface and Coatings Technology*, 2013, vol. 224, pp. 8-17.
172. Wojtczyk H., Graf H., Martirosian P., Ballweg V., Kraiger M., Pintaske J., Schick F. Quantification of direct current in electrically active implants using MRI methods. *Zeitschrift für Medizinische Physik*, 2011, vol. 21, no. 2, pp. 135-146.
173. Xavier J.C., Hordijk W., Kauffman S., Steel M., Martin W.F. Autocatalytic chemical networks at the origin of metabolism. *Proceedings of the Royal Society B*, 2020, vol. 287, no. 1922, p. 2019237.
174. Xiong Y., Ouyang L., Liu Y., Xie Q., Wang J. One of the most important parts for bio-elementomics: specific correlation study of bio-elements in a given tissue. *Journal of Chinese Mass Spectrometry Society*, 2006, vol. 27, pp. 35-36.
175. Ye Q., Park J.E., Gughani K., Betharia S., Pino-Figueroa A., Kim J. Influence of iron metabolism on manganese transport and toxicity. *Metallomics*, 2017, vol. 9, pp. 1028-1046.
176. Yuan C., Krefß S., Sadashivaiah G., Rudnyi E.B., Hohlfeld D., Bechtold T. Towards efficient design optimization of a miniaturized thermoelectric generator for electrically active implants via model order reduction and submodeling technique. *International Journal for Numerical Methods in Biomedical Engineering*, 2020, vol. 36, no. 4, p. e3311.

177. Yuan Q., Zhu X., Sayre L.M. Chemical nature of stochastic generation of protein-based carbonyls: Metal-catalyzed oxidation versus modification by products of lipid oxidation. *Chemical Research in Toxicology*, 2007, vol. 20, no. 1, pp. 129-139.
178. Zhang A., Jung K., Li A., Liu J., Boyer C. Recent advances in stimuli-responsive polymer systems for remotely controlled drug release. *Progress in Polymer Science*, 2019, vol. 99, p. 101164.
179. Zhang Q., Leng Y. Electrochemical activation of titanium for biomimetic coating of calcium phosphate. *Biomaterials*, 2005, vol. 26, no. 18, pp. 3853-3859.
180. Zhang Q., Leng Y., Xin R. A comparative study of electrochemical deposition and biomimetic deposition of calcium phosphate on porous titanium. *Biomaterials*, 2005, vol. 26, no. 16, pp. 2857-2865.
181. Zhang W., Ma J., Wang P., Wang Z., Shi F., Liu H. Investigations on the interfacial capacitance and the diffusion boundary layer thickness of ion exchange membrane using electrochemical impedance spectroscopy. *Journal of Membrane Science*, 2016, vol. 502, pp. 37-47.
182. Zhang W., Tan N.G., Fu B., Li S.F. Metallomics and NMR-based metabolomics of *Chlorella sp.* reveal the synergistic role of copper and cadmium in multi-metal toxicity and oxidative stress. *Metallomics*, 2015, vol. 7, no. 3, pp. 426-438.
183. Zhou J., Lu L., Byrapogu K., Wootton D.M., Lelkes P.I., Fair R. Electrowetting based multi-microfluidics array printing of high resolution tissue construct with embedded cells and growth factors. *Virtual and Rapid Manufacturing*. CRC Press, 2007, pp. 265-274.
184. Zilberman M. (Ed.). *Active implants and scaffolds for tissue regeneration*. Berlin: Springer, 2011, pp. 1-24.

ДААННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Градов Олег Валерьевич, старший научный сотрудник

Федеральный исследовательский центр химической физики имени Н.Н. Семенова Российской академии наук (ФИЦ ХФ РАН); IEEE EMBS Technical Committee on Bionanotechnology & BioMEMS; IEEE EMBS Technical Committee on Neuroengineering; IEEE Biometrics Council
ул. Косыгина, 4, г. Москва, 119991, Российская Федерация
o.v.gradov@gmail.com

Градова Маргарита Алексеевна, кандидат химических наук, старший научный сотрудник

Федеральный исследовательский центр химической физики имени Н.Н. Семенова Российской академии наук (ФИЦ ХФ РАН)

*ул. Косыгина, 4, г. Москва, 119991, Российская Федерация
m.a.gradova@gmail.com*

Кочервинский Валентин Валентинович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник
*Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии Госкорпорации «Росатом» (АО «ВНИИХТ»); Филиал научно-исследовательского физико-химического института имени Л.Я. Карпова (Филиал АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова»)
Каширское ш., 33, г. Москва, 115409, Российская Федерация; ул. Воронцово Поле, 10, г. Москва, 105064, Российская Федерация
kochval@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Oleg V. Gradov, Senior Researcher

*Semenov Federal Research Center for Chemical Physics of the Russian Academy of Sciences; IEEE EMBS Technical Committee on Bionanotechnology & BioMEMS; IEEE EMBS Technical Committee on Neuroengineering; IEEE Biometrics Council
4, Kosygin Str., Moscow, 119991, Russian Federation
o.v.gradov@gmail.com*

Margarita A. Gradova, Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher

*Semenov Federal Research Center for Chemical Physics of the Russian Academy of Sciences
4, Kosygin Str., Moscow, 119991, Russian Federation
m.a.gradova@gmail.com*

Valentin V. Kochervinskii, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Chief Researcher

*Leading Scientific Research Institute of Chemical Technology; Karpov Scientific Research Institute of Physics and Chemistry
33, Kashirskoye Shosse, Moscow, 115409, Russian Federation; 10, Vorontsovo Pole, Moscow, 105064, Russian Federation
kochval@mail.ru*

Поступила 31.10.2021

После рецензирования 20.11.2021, 19.08.2022

Принята 30.08.2022

Received 31.10.2021

Revised 20.11.2021, 19.08.2022

Accepted 30.08.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-378-401

УДК 547.82



Обзорная статья

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ НИТРОПИРИДИНОВ

*Е.В. Иванова, И.И. Сурова, М.Б. Никишина, Л.Г. Мухторов,
И.В. Шахкельдян, Ю.М. Атрощенко*

Обоснование. *Пиридины – одни из самых распространенных гетероциклов, производные которых широко применяются в фармацевтике, агрохимии, а также в производстве новых материалов. Поэтому всестороннее изучение химического поведения различных производных пиридинов будет продолжать оставаться актуальной задачей органической химии. Данный литературный обзор посвящен систематизации и анализу химических свойств нитропроизводных пиридина, начиная с первой половины XX в. и до настоящего времени. В работе рассмотрены, как реакции, идущие по нитро-группе (восстановление под действием различных химических агентов, замещение, конденсация), так и реакции по пиридиновому циклу. Также показаны основные области применения нитропиридинов.*

Цель. *Обобщить и систематизировать основные типы реакций, характерные для нитропиридинов, показать особенности их химических свойств, связанных с превращениями нитрогруппы, ее влиянием на подвижность заместителей в пиридиновом цикле, а также на активность гетероцикла в целом.*

Материалы и методы. *Для достижения поставленной цели исследования был произведен обзор научной литературы по основным типам химических реакций, характерным для нитропроизводных пиридина и наиболее значимым областям их применения.*

Результаты. *В данной работе обобщены результаты экспериментальных исследований по химическим свойствам и применению нитропиридинов, с начала прошлого столетия и до настоящего времени.*

Заключение. *Таким образом, в результате анализа источников, посвященных химическим свойствам и применению нитропиридинов, был составлен краткий литературный обзор, включающий основные типы реакций, характерные для исследуемых соединений, обозначены основные их области применения.*

Ключевые слова: научный обзор; пиридины; нитропроизводные пиридина; применение нитропиридинов; химические свойства нитросоединений

Для цитирования. Иванова Е.В., Сурова И.И., Никишина М.Б., Мухторов Л.Г., Шахкельдян И.В., Атрощенко Ю.М. Химические свойства и применение нитропиридинов // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №1. С. 378-401. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-378-401

Scientific review

CHEMICAL PROPERTIES AND APPLICATIONS OF NITROPYRIDINES

*E.V. Ivanova, I.I. Surova, M.B. Nikishina, L.G. Mukhtorov,
I.V. Shahkeldyan, Yu.M. Atroshchenko*

Background. Pyridines are one of the most common heterocycles, the derivatives of which are widely used in pharmaceuticals, agrochemistry, and also in the production of new materials. Therefore, a comprehensive study of the chemical behavior of various pyridine derivatives will continue to be an urgent task of organic chemistry. This literature review is devoted to the systematization and analysis of the chemical properties of pyridine nitro derivatives, starting from the first half of the 20th century and up to the present. The paper considers both reactions proceeding through the nitro group (reduction under the action of various chemical agents, substitution, condensation) and reactions through the pyridine cycle. The main areas of application of nitropyridines are also shown.

Purpose. Generalize and systematize the main types of reactions characteristic of nitropyridines, show the features of their chemical properties associated with the transformation of the nitro group, its effect on the mobility of substituents in the pyridine ring, as well as on the activity of the heterocycle as a whole.

Materials and methods. To achieve the goal of the study, a review of the scientific literature was made on the main types of chemical reactions characteristic of pyridine nitro derivatives and the most significant areas of their application.

Results. This paper summarizes the results of experimental studies on the chemical properties and application of nitropyridines from the beginning of the last century to the present.

Conclusion. Thus, as a result of the analysis of sources devoted to the chemical properties and application of nitropyridines, a brief literature review was compiled, including the main types of reactions characteristic of the compounds under study, and their main areas of application were identified.

Keywords: scientific review; pyridines; pyridine nitro derivatives; application of nitropyridines; chemical properties of nitro compounds

For citation. Ivanova E.V., Surova I.I., Nikishina M.B., Mukhtorov L.G., Shahkeldyan I.V., Atroshchenko Yu.M. Chemical Properties and Applications of Nitropyridines. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 378-401. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-378-401

Введение

Известно, что различные замещенные пиридины входят в качестве структурных звеньев в биологически активные соединения, которые применяются в качестве лекарственных препаратов (рис. 1), а также средств защиты растений [3, 30]. В качестве примеров лекарств, производных пиридина достаточно привести такие распространенные и широко известные препараты, как эзомепразол (нексиум), пиоглитазон (астрозон, пиоглар) и эзопиклон (лунеста), и это только малая доля широчайшего спектра лекарственных средств, содержащих пиридиновый фрагмент. Следует отметить, что большой процент вновь зарегистрированных за последнее время лекарственных средств также представляет собой синтетические производные пиридина [13].

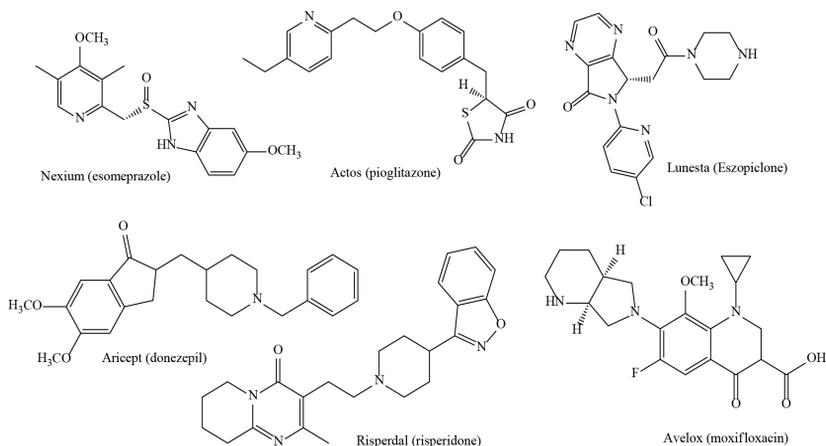


Рис. 1. Лекарственные средства, содержащие пиридиновый или пиперидиновый цикл

Не смотря на то, что к настоящему времени накоплены достаточно обширные знания о химии производных пиридина, однако, нитропиридины

описаны гораздо менее подробно. В литературе встречаются публикации, охватывающие химию нитропроизводных пиридинов, но они носят разрозненный характер [2]. Таким образом, данный обзор посвящен систематизации и анализу химических свойств и областей применения нитропроизводных пиридина, начиная с первой половины XX в. и до сегодняшнего времени.

Цель работы

Обобщить и систематизировать основные типы химических реакций, характерные для нитропиридинов, а также обозначить ключевые области их применения.

Материалы и методы исследования

Для достижения поставленной цели были проанализированы и обобщены научные статьи и патенты, посвященные химии нитропроизводных пиридина и раскрывающие основные достижения в указанной области отечественных и зарубежных исследователей.

Результаты исследования и их обсуждение

К настоящему времени издано множество работ, посвященных химии пиридина и его производных, однако нитропиридины описаны не столь подробно, им посвящены лишь отдельные, разрозненные публикации. Поэтому в настоящей работе была собрана и систематизирована основная информация по химическому поведению нитропроизводных пиридина с начала прошлого столетия и до настоящего дня.

Свойства нитропиридинов

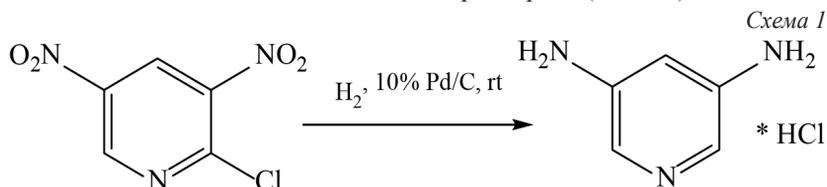
Нитропроизводные пиридинов представляют собой бесцветные или бледно-желтые твердые кристаллические порошки с низкой температурой плавления, что позволяет выделять их в чистом виде путем вакуумной перегонки с водяным паром. Среди нитропиридинов распространены их различные соли и производные, обладающие кислотными свойствами. Лишь 3,5-динитропиридин показывает свойства слабого основания и образует соли, легко подвергающиеся гидролизу [31]. Наличие NO_2 -группы в составе нитропиридинов обуславливает их специфические свойства, связанные с превращениями нитрогруппы, ее влиянием на подвижность заместителей в пиридиновом цикле, а также на активность гетероцикла в целом.

1. Восстановление нитрогрупп

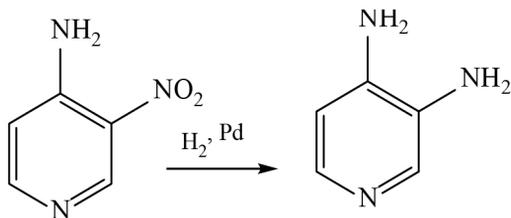
Подобно нитроаренам, нитропроизводные пиридина достаточно легко восстанавливаются до соответствующих аминопроизводных водоро-

дом на катализаторах или под действием различных химических агентов. В результате таких реакций могут быть получены нитропиридины, гидроксиламинопиридины, а также азоксипиридины, азиопиридины и/или гидразопиридины. Строение образующихся продуктов зависит от природы восстановителя и исходного нитросоединения.

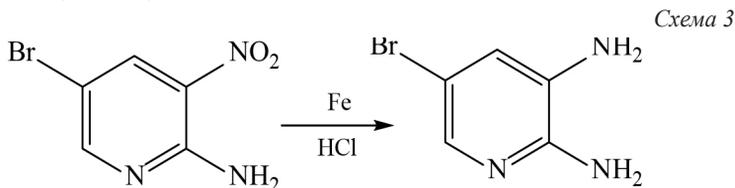
Так, в результате восстановления 2-хлор-3,5-динитропиридина при 20-25 °С водородом на катализаторе (10% Pd/C) образуется 3,5-диаминопиридин. В работе [26] показано, что в данной реакции, параллельно с восстановлением нитрогрупп, идет процесс дегалогенирования, при этом конечный диамин выделяется в виде гидрохлорида (схема 1).



Авторы работы [24] продемонстрировали возможность получения 3,4-диаминопиридина из 3-нитро-4-аминопиридина, также путем каталитического гидрирования (схема 2).

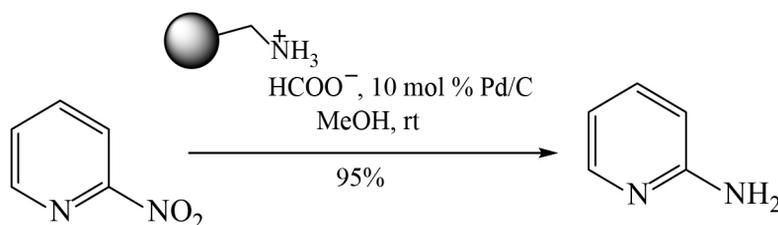


Далее рассмотрим химические методы восстановления нитропроизводных пиридина. Например, под действием железа в соляной кислоте [24] 5-бром-3-нитро-2-аминопиридин восстанавливается до 5-бром-2,3-диаминопиридина (схема 3).



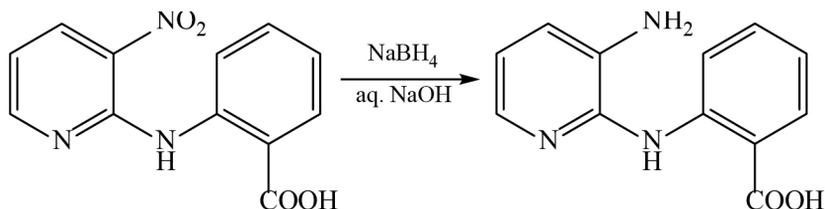
3-Нитрозамещенные пиридины при обработке смесью $ZrCl_4$ с $NaBH_4$ в соотношении 1:4 в тетрагидрофуране успешно восстанавливаются до аминпроизводных [5]. Другим восстанавливающим агентом в этой реакции может выступать $NaHSO_3$ в смеси ТГФ / H_2O при температуре 20-25 °С. 2-аминопиридин можно получить с высоким выходом путем восстановления 2-нитропиридина на 10% Pd/C, в присутствии формиата полимерного носителя, синтезированного из формиата аммония и аминотетрагидрофуранолиевой смолы (схема 4). Смолу можно отделять фильтрованием и возвращать в процесс до 10 раз.

Схема 4



Применяя в качестве восстановителя боргидрид натрия в кипящем этиловом спирте, можно восстановить 2- и 4-нитропиридины до гидразо- и азосоединений, соответственно. Здесь проявляется специфика химических свойств именно нитрозамещенных пиридинов, так как нитроарены не вступает в подобную реакцию при аналогичных условиях. Так, при восстановлении 2-(3-нитропиридин-2-иламино)бензойной кислоты боргидридом натрия в растворе едкого натра образуется 2-(3-аминопиридин-2-иламино)бензойная кислота (схема 5) [29].

Схема 5

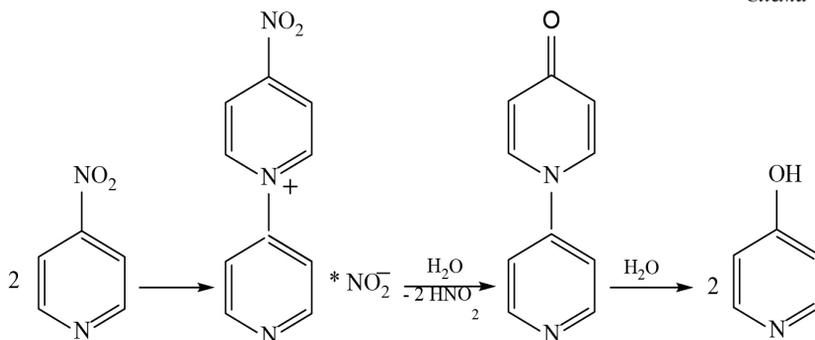


1.2. Реакции замещения нитрогрупп

NO_2 -группа в 2-, 4-, 6-нитропроизводных пиридина склонна к замещению под действием различных нуклеофилов. Наиболее подробно исследованы реакции замещения NO_2 -групп в алкоксипроизводных

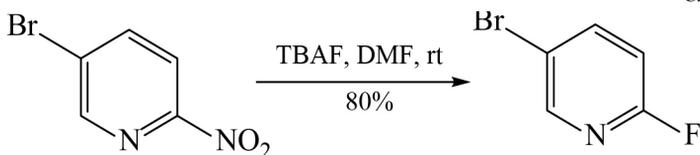
2-нитропиридинов. Так, под действием HBr при нагревании до 100°C происходит замещение нитрогрупп в 3,5-диэтокси-2,6-динитропиридине. Подобным образом вступает в ту же реакцию 3-этокси-2-нитропиридин. Однако при обработке 2-бром-3-этокси-6-нитропиридина аммиаком замещение нитрогруппы не наблюдается. Реакция замещения в данных условиях идет либо по атому галогена, либо по этоксигруппе, что приводит к образованию 2-амино-3-этокси-6-нитропиридина или 3-амино-2-бром-6-нитропиридина соответственно. NO_2 -группа устойчива к замещению аммиаком даже при нагревании, где в качестве основного продукта образуется 2,3-диамино-6-нитропиридин. Данную особенность аминирования подтвердил Катада с коллегами [17], который, изучая особенности химического поведения нитропроизводных пиридина, показал, что при взаимодействии 3-этокси-2-нитропиридина с NH_3 при температуре 150°C основным продуктом является 3-амино-2-нитропиридин. 4-Нитропиридин демонстрирует исключительную лабильность, вступая в реакции бимолекулярного замещения (схема 6), как и 4-хлорпиридин, и 4-пиридинсульфониловая кислота. Например, при гидратации 4-нитропиридина образуется 4-гидроксипиридин. Гидролиз протекает через образование промежуточного соединения – 1-(4-пиридил)-4-(*1H*)-пиридона.

Схема 6

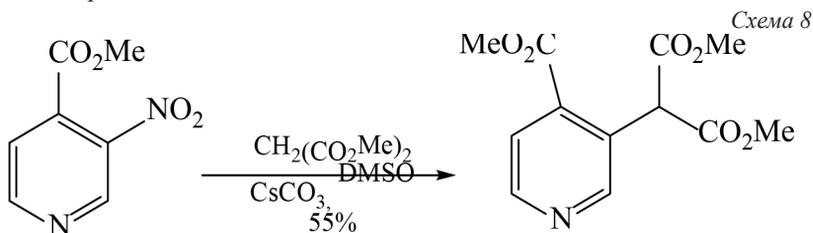


При взаимодействии 2-метил-4-нитропикколиновой кислоты с концентрированной соляной кислотой образуется 2-метил-4-хлорпикколиновая кислота с выходом около 80%. При действии спиртов или тиоспиртов в присутствии NaN на раствор 2-хлор-4-нитропиридина в диоксане образуются соответствующие 4-алкокси- или алкилтио-4-нитропиридины. Причем реакция протекает с достаточно высоким выходом. С умеренным выходом фторируются и различные 2- и 4-нитрозамещенные пи-

ридины [20], давая соответствующие фторпроизводные. Процесс идет под действием тетрабутиламмонийфторида в диметилформамиде. Так, 5-бром-2-нитропиридин в данной реакции дает 2-фтор-5-бромпиридин с выходом 80% (схема 7). В 3-нитропиридинах нитрогруппа может замещаться на фтор только случае, если пиридиновый цикл содержит ориентиранты второго рода [20].



Реакцию замещения NO_2 -группы в нитропроизводных пиридинах нередко используют для получения алкилпиридинов. Начало исследований данных реакций положил Фиксдейл с коллегами. Ими опубликованы результаты, полученные в результате изучения реакций 3-нитропиридилкарбоксилата с различными *C*-нуклеофилами, в том числе с малоновым эфиром [27]. Данное взаимодействие осуществлялось в присутствии CsCO_3 в диметилсульфоксиде, в результате был получен триэфир с выходом 55% (схема 8). Данная реакция в настоящее время широко применяется для получения ряда 3-алкилпиридинов и бис-гетероциклов.



1.3. Реакции замещения, активированные нитрогруппой

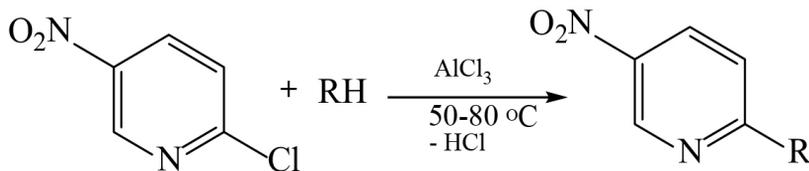
Замечено, что 3-нитропиридин по химическим свойствам во многом подобен нитробензолу. Так, его 2-, 4-нитропроизводные в реакциях нуклеофильного замещения ведут себя подобно *o*- и *p*-динитробензолам. К настоящему времени установлено, что, сравнивая реакционную способность 2- и 4-замещенных 3-нитропиридинов, последние являются более активными и реакционноспособными [8].

Кенигс [14], проводя сравнительный анализ реакционной способности 2-хлор-5-нитропиридина и 2,4-динитрохлорбензола, показал, что динитроарен является более реакционноспособным. Бишоп рассчитал энергии активации реакций с участием динитрохлорбензола и нитрохлорпиридинов [10], на основании чего выстроил нитропроизводные в следующий ряд по уменьшению реакционной способности: 2,4-динитрохлорбензол > 4-хлор-3-нитропиридин > 2-хлор-5-нитропиридин > 2-хлор-3-нитропиридин.

2- и 4-галогензамещенные 3-нитропиридины, подобно *o*- и *n*-галогеннитробензолам, проявляют высокую реакционную способность, для них характерны реакции нуклеофильного замещения атома галогена. Так, в результате гидролиза 4-хлор-3-нитропиридина при небольшом нагревании (до 40 °С) образуется 4-гидрокси-3-нитропиридин, а 4-хлор-3,5-динитропиридин гидролизуется уже атмосферной влагой и без нагревания. Подобным образом 2-хлор-3,5-динитропиридин подвергается щелочному гидролизу при комнатной температуре до 2-гидрокси-3,5-динитропиридина.

NO₂-группа, являясь электрооакцептором, облегчает реакции нуклеофильного замещения атома хлора в 2-хлор-5-нитропиридине на арильный или гетероарильный фрагмент. Реакция протекает в дихлорэтане при нагревании до 50-80°С, катализатор AlCl₃ (схема 9).

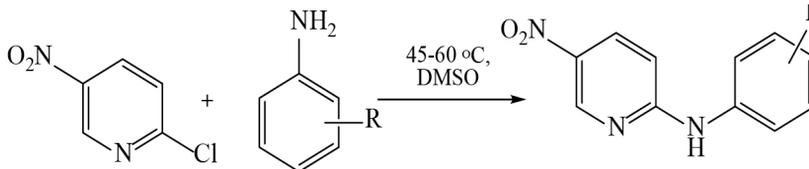
Схема 9



R= Aryl, Heteroaryl

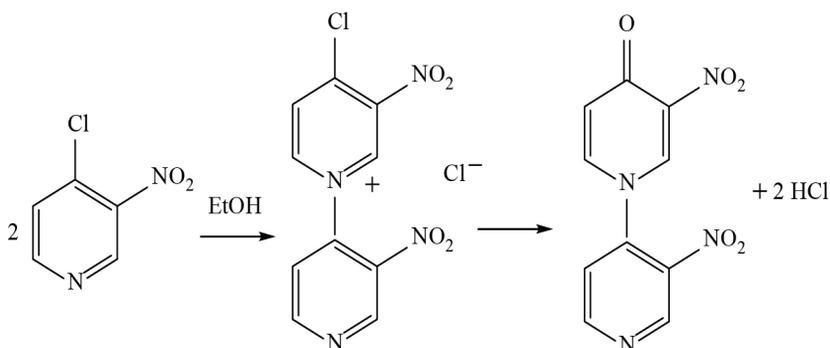
Аналогично, 2-хлор-5-нитропиридин реагирует с анилином и его производными (схема 10). Синтез протекает в диметилсульфоксиде, при нагревании до 45-60°С.

Схема 10



На схеме 11 представлена реакция межмолекулярного взаимодействия в этанольном растворе 4-хлор-3-нитропиридина. Подобно, описанным выше процессам, здесь имеет место нуклеофильное замещение атома хлора. Интересно отметить, что синтез осуществляется через промежуточный продукт – бис-гетероциклический пиридинийхлорид, который далее переходит в N-замещенный 3-нитропиридон.

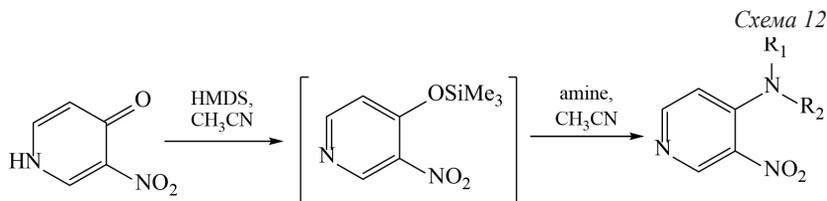
Схема 11



Бром-замещенные нитропиридины аминируются подобно хлорпроизводным. Так, при действии циклических аминов на 2-бром-5-нитропиридин, в условиях микроволнового излучения, S_N-реакция протекает с довольно высоким выходом.

Следует отметить, что 2-хлор-3,5-динитропиридин, проявляет очень высокую активность в реакциях нуклеофильного замещения. Это подтверждают реакции с анилином и его производными [11], с разнообразными алифатическими аминами [25], а также с *O*- [8] и *S*-нуклеофилами [21]. Однако для синтеза 2-хлор-3,5-динитропиридина необходима хлорокись фосфора, работа с которой требует особых мер предосторожности. Данный факт существенно ограничивает широкое применение описанных выше S_N-реакций. Поэтому в современном органическом синтезе чаще применяется более безопасный и эффективный способ получения нитропроизводных аминопиридинов из соответствующих нитропиридонов, под действием гексаметилдисилазана (HMDS) (схема 12). Указанный метод отличается высоким выходом и позволяет провести синтез, минуя хлорпроизводные нитропиридинов.

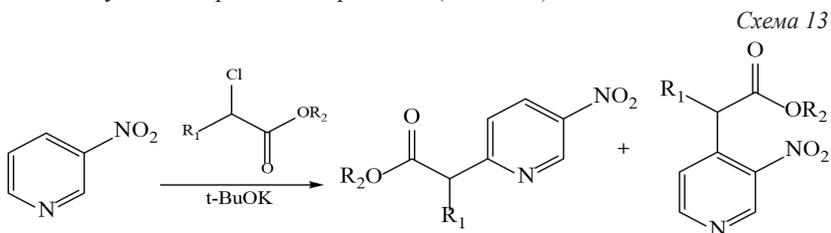
Авторы работы [19] демонстрируют возможность реакции замещения 2-хлор-3-циано-5-нитропиридина с производными моносахаридов, в результате чего были выделены соответствующие гликозиды.



В работе [8] показано, что помимо галогензамещенных нитропиридинов, в реакции нуклеофильного замещения успешно вступают также и алкокси-, и феноксипроизводные нитропиридинов. Это можно проиллюстрировать реакцией аминирования 2-фенокси- и 2-этокси-3,5-динитропиридинов в полярных апротонных растворителях, в результате чего образуются соответствующие 2-аминозамещенные продукты.

Замещение атома фтора в 3-фтор-4-нитропиридин-1-оксиде протекает в мягких условиях, уже при комнатной температуре. При нагревании происходит замещение не только атома галогена, но и нитрогруппы.

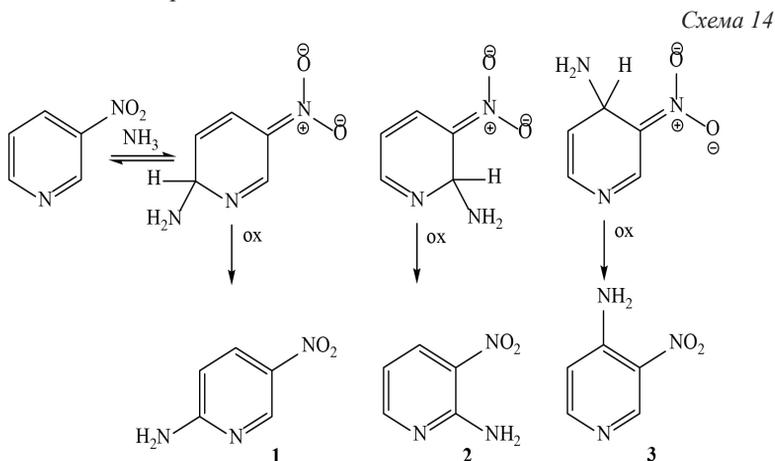
3-Нитропиридины и 4-замещенные 3-нитропиридины могут вступать в реакции викариозного нуклеофильного замещения с хлороформом, метиловым эфиром хлоруксусной кислоты и этиловым эфиром α -хлорпропионовой кислоты. Процесс протекает селективно, с высоким выходом, в *o*- и *p*-положения относительно нитрогруппы. Так, в работе [7] рассмотрены реакции взаимодействия 3-нитропиридина с метилмоноклорацетатом и этил- α -хлорпропионатом. Показано, что в результате, образуется *орто*- и *пара*-замещенные пиридины, причем их соотношение можно варьировать, изменяя условия проведения реакций (схема 13).



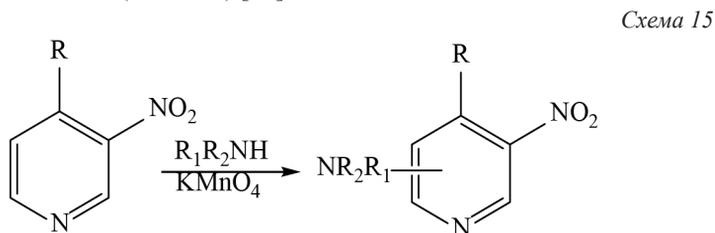
Арены и гетероциклы также подвергают реакциям окислительного аминирования с целью синтеза соответствующих аминопиридинов. Нитропроизводные пиридинов довольно активно вступают в данный процесс. Например, при обработке 3-нитропиридина $\text{NH}_3(\text{жидк.})$, используя в качестве окислителя KMnO_4 , на выходе получается смесь, состоящая из 2-амино-5-нитропириди-

на, 2-амино-3-нитропиридина и 4-амино-3-нитропиридина (схема 14). Синтез идет через образование 3-х промежуточных продуктов, которые далее окисляются до соответствующих аминонитропиридинов.

В работе [18] проведен анализ влияния природы растворителя и концентрации аммиака на количественное соотношение продуктов **1**, **2** и **3** (схема 14). Было показано, что высокий выход (90%) и высокая региоселективность (98%) достигается, если в качестве реакционной среды использовать смесь диметилсульфоксид/вода в пропорции 75:25, а NH_3 применять в газообразном виде.



Описанную реакцию можно провести и для 4-замещенных 3-нитропиридинов с бутил- и диэтиламинами. Синтез протекает региоселективно и с высоким выходом (схема 15) [18].



1.4. Реакции конденсации нитропиридинов

4-R-3-нитропиридины могут выступать ключевыми синтонами для получения новых бициклических молекул. Одним из первых исследований в

данном направлении стало изучение реакций получения производных имидазо[4,5-с]пиридина, исходя из 4-аминопиридина. В одном случае 2-R-имидазо[4,5-с]пиридин был получен в результате конденсации ацилированной и свободной аминогрупп с уксусной кислотой (схема 16). В другом, в конденсацию вступают защищенная амино- и соседняя нитро- группы, с образованием 1,3-дигидро(2H)-имидазо[4,5-с]пиридин-2-онов (схема 17) [22].

Схема 16

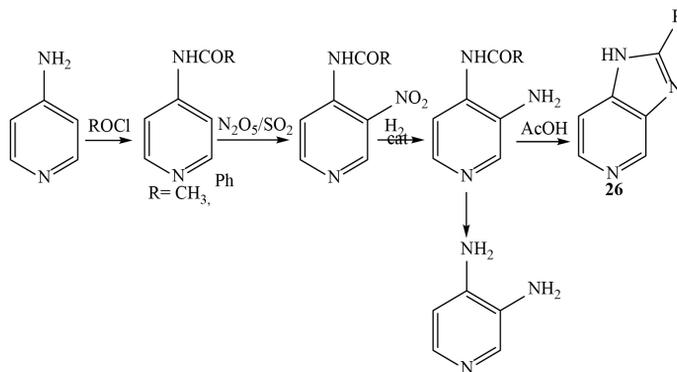
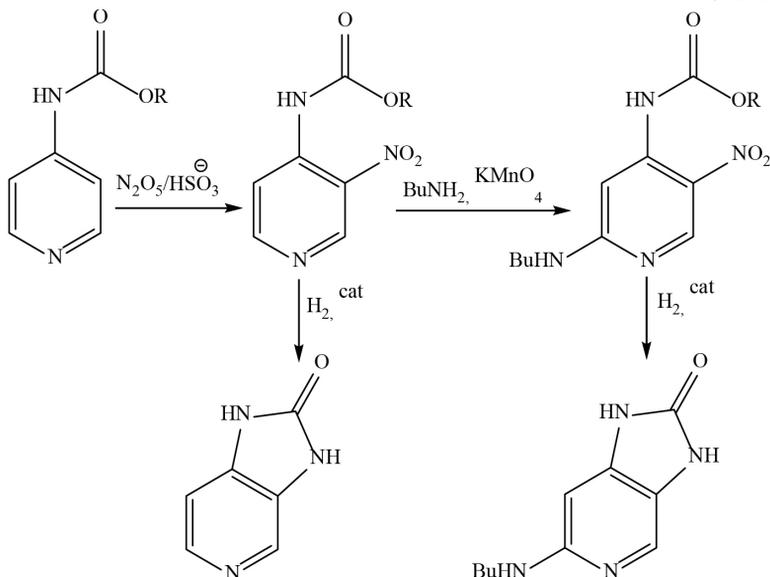


Схема 17



Другим примером синтеза бициклических структур на основе замещенных производных нитропиридина может являться восстановительная циклизация бис(бензилоксикарбо)метил-3-нитропиридина с образованием 6-азаиндола. Так, исходя из 4-метоксикарбометил-3-нитропиридина, были синтезированы производные 6-азаиндолов (схема 18). Влияние природы заместителей на выход данной химической реакции отражено в таблице 1 [6].

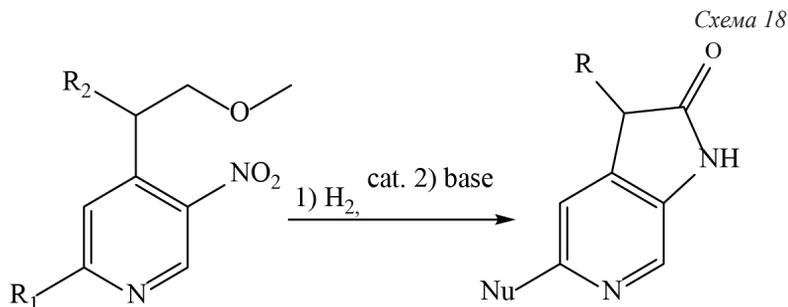


Таблица 1

| R_2 | R_1 | Выход, % |
|-------|---------|----------|
| H | H | 70 |
| Bn | H | 50 |
| H | CH_3O | 30 |

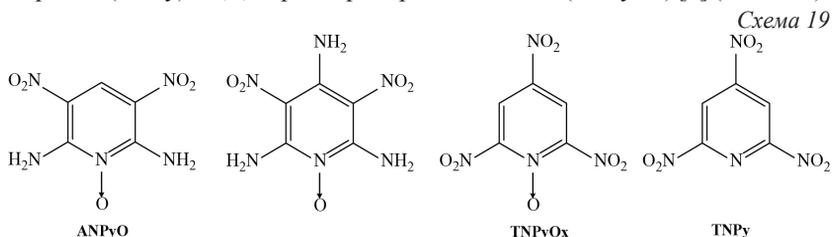
2. Применение нитропиридинов

Получение нитропроизводных пиридина с различными заместителями в достаточных для детального изучения их химических свойств и дальнейших превращений количестве, стало возможным после разработки эффективных методик нитрования пентаоксидом азота и его эквивалентами. На сегодняшний день нитропиридины активно используются как исходные реагенты для получения фтор-, окси- и метоксипроизводных пиридина. Синтезы с участием 2- и 4-нитропиридинов идут довольно легко и в мягких условиях. В то же время 3-нитрозамещенные пиридины требуют гораздо более жестких условий и наличия в пиридиновом цикле заместителей, обладающих электроноакцепторным эффектом [20].

Нитропиридины играют огромную роль в синтезе биологически активных соединений, которые находят широкое применение в фармацевтическом производстве и агрохимии [23]. Отдельные представители нитропиридинов проявляют фунгицидную активность, и поэтому применяются в терапии различных грибковых заболеваний [4].

Результаты современных исследований говорят о том, что кристаллы некоторых органических соединений могут проявлять нелинейные и электрооптические свойства, сопоставимые или даже превосходящие известные неорганические материалы [12]. Такие органические молекулы составляют основу современных нелинейно-оптических (NLO) материалов, которые необходимы в производстве лазерных приборов, спектроскопии, оптоволоконных линиях связи, фотонике, а также находят применение в таких отраслях, как медицина и экология [1]. Именно такими соединениями, с нелинейными оптическими свойствами, и являются нитропроизводные пиридина. В качестве примеров можно привести такие молекулы, как 2-амино-5-нитропиридин (2A5NP), 2-амино-3-нитропиридин, 2-хлор-3,5-динитропиридин, 2-(*n*-пролинол)-5-нитропиридин-фуллерен, 2-(*n*-пролинол)-5-нитропиридин (PNP), 2-адамантиламино-5-нитропиридин (AANP), 2-циклооктиламино-5-нитропиридин (COANP) [16] и др. Материалы, изготовленные на основе данных соединений, демонстрируют отличные оптические нелинейные свойства и ускоренный оптический отклик, показывают высокую пропускную способность. Благодаря их уникальным свойствам стал возможным более гибкий дизайн устройства и снижение себестоимости обработки [15].

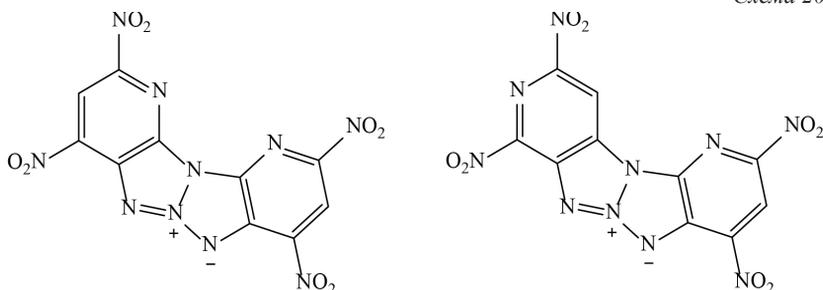
Нитропроизводные пиридинов широко применяются в производстве современных энергетических материалов, в том числе ракетного топлива, взрывчатых веществ и пиротехники. По сравнению с их нитроароматическими аналогами, такие материалы демонстрируют более высокие технические показатели. Например, в данной области отлично себя зарекомендовали такие молекулы, как 2,6-диамино-3,5-динитропиридин-1-оксид (АНРyO), 2,6-диамино-3,5-динитропиридин (АНРy), 2,4,6-триамино-3,5-динитропиридин-1-оксид, 3,5-диметокси-2,6-динитропиридин-1-оксид, 2,4,6-тринитропиридин (ТНРy) и 2,4,6-тринитропиридин-1-оксид (ТНРyOx) [9] (схема 19).



Авторам работы [28] удалось получить две молекулы пиридиновых солей, которые являются структурными аналогами тетранитробензотриа-

золобензотриазола (ТАСОТ) – довольно распространенного взрывчатого соединения (схема 20). Было отмечено, что данные внутримолекулярные пиридиниевые соли показывают значительно большую энергоемкость и теплостабильность, чем упомянутое выше товарное соединение [32].

Схема 20



Исходя из литературных данных, можно сделать вывод, что нитропроизводные пиридина являются довольно активными химическими соединениями и представляют собой ценные и перспективные вещества, с точки зрения их применения в различных областях науки и техники.

Заключение

Таким образом, в результате анализа источников, посвященных химическим свойствам и применению нитропиридинов, был составлен краткий литературный обзор, включающий основные типы реакций, характерные для исследуемых соединений, обозначены основные их области применения.

Список литературы

1. Беспрозванных В.Г., Первадчук В.П. Нелинейная оптика: учеб. пособие. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та. 2011. 200 с.
2. Иванова Е.В., Никишина М.Б., Мухторов Л.Г., Шахгельдян И.В., Атрощенко Ю.М. Методы синтеза нитропиридинов // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13. № 6. С. 177-200. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-177-200>
3. Иванова Е.В., Никишина М.Б., Третьякова А.В., Мухторов Л.Г., Переломов Л.В., Атрощенко Ю.М. Изучение фунгицидной активности новых производных 7-R-1,5-динитро-3,7-диазабицикло[3.3.1]нонан-2-она // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13. № 5. С. 307-320. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-5-307-320>

4. Пат. WO2013129973 A1. 2-нитрогетерилтиоцианаты для лечения грибковых инфекций, фармацевтическая композиция и их применение / Рябова С.Ю., Суровцев В.В. заявл. 27.02.2013; опубл. 06.09.2013.
5. Сингх М.С., Чоудхури С. Последние разработки в области многокомпонентных реакций без растворителей: идеальная синергия для экологически совместимого органического синтеза // *Rsc Advances*. 2012. Т. 2. № 11. С. 4547-4592.
6. Andreassen E.J., Bakke J.M. Preparation of 6-azaoxindole (6-azaindol-2(3H)-one) and substituted derivatives // *J. Heterocyclic Chem.* 2006. V. 43. P. 49-54.
7. Andreassen E.J., Bakke J.M., Sletvold I., Svensen H. Nucleophilic alkylations of 3-nitropyridines // *Org. Biomol. Chem.* 2004. V. 2. P. 2671-2676.
8. Asghar B. H. Kinetic and equilibrium studies of σ -adduct formation and nucleophilic substitution in the reactions of 2-chloro-3, 5-dinitropyridine and 2-ethoxy-3, 5-dinitropyridine with p-substituted anilines in DMSO // *Monatshefte für Chemie-Chemical Monthly*. 2013. Т. 144. № 3. С. 301-306.
9. Badgujar D.M., Talawar M.B., Asthana S.N., Mahulikar P.P. Advances in science and technology of modern energetic materials: An overview // *Journal of Hazardous Materials*. 2008. V. 151. P. 289-305.
10. Benjahad A. et al. 3-Iodo-4-phenoxy pyridinones (IOPY's), a new family of highly potent non-nucleoside inhibitors of HIV-1 reverse transcriptase // *Bioorganic & medicinal chemistry letters*. 2003. Т. 13. № 24. С. 4309-4312.
11. Bhuvaneshwari D.S., Elango K.P. Solvent hydrogen bonding and structural effects on reaction of 2-chloro-3,5-dinitropyridine with para-substituted anilines in dimethylformamide/acetonitrile mixtures // *Journal of the Indian Chemical Society*. 2011. V. 88. P. 1547-1551.
12. Bosshard C. et al. *Organic nonlinear optical materials*. CRC press. 2020.
13. Buss A.D., Butler M.S. *Natural Product Chemistry for Drug Discovery*. The Royal Society of Chemistry: Cambridge. UK. 2010.
14. da Silva J. P. et al. Electrochemical, mechanistic, and DFT studies of amine derived diphosphines containing Ru (II)cymene complexes with potent in vitro cytotoxic activity against HeLa and triple-negative breast cancer cells MDA-MB-231 // *Dalton Transactions*. 2020. Т. 49. № 45. С. 16498-16514.
15. Ferrari A. C. et al. Science and technology roadmap for graphene, related two-dimensional crystals, and hybrid systems // *Nanoscale*. 2015. Т. 7. № 11. С. 4598-4810.
16. Kamanina N. V. Optical investigations of a C70-doped 2-cyclooctylamino-5-nitropyridine-liquid crystal system // *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics*. 2002. Т. 4. № 5. С. 571.

17. Katada, I. Polarization of aromatic heterocyclic compounds. LIII. Deoxidation of pyridine and quinoline 1-oxides by thermal decomposition // *J. Pharm. Soc. Japan*. 1947. V. 67. P. 53-55.
18. Kodimuthali A. et al. A simple synthesis of aminopyridines: Use of amides as amine source // *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 2010. T. 21. C. 1439-1445.
19. Komor R. et al. Application of different alpha-1-thioglycosides preparation methods in synthesis of 5-nitro-2-pyridyl 1-thioglycosides substrates in synthesis of conjugates with uridine moiety. Part I // *Acta Poloniae Pharmaceutica*. 2012. T. 69. № 6. C. 1259-1269.
20. Kuduk S.D., Di Pardo R.M., Bock M.G. Tetrabutylammonium Salt Induced Denitration of Nitropyridines: Synthesis of Fluoro-, Hydroxy-, and Methoxy-pyridines // *Org. Lett.* 2005. V. 7. P. 577-579.
21. Kumar N., Singh G., Khatoon S., Yadav A.K. Synthesis and antimicrobial activities of novel 10H-pyrido[3,2-b][1,4]benzo[b]thiazine ribofuranosides // *Indian Journal of Chemistry, Section B: Organic Chemistry Including Medicinal Chemistry*. 2003. V. 42. P. 2015-2018.
22. Lach F., Koza P. Practical Way to Imidazo [4, 5-b] and [4, 5-c] Pyridine-2-ones via Cascade Ureidation/Palladium-Catalyzed Cyclization // *ACS Combinatorial Science*. 2012. T. 14. № 9. C. 491-495.
23. Ling C.G., Lu S. Synthesis of new unsymmetric N,N'-dipyridylurea derivatives by selenium and selenium dioxide-catalyzed reductive carbonylation of substituted nitropyridines // *Tetrahedron*. 2003. V. 59. P. 8251-8256.
24. Murugan R. Pyridines: from lab to production. Chapter 4 - Substituent Modifications // *Best Synthetic Methods*. 2013. P. 375-411.
25. Pat. WO2011/69898 A1. Novel cationic aminopyridines, dye composition comprising a cationic aminopyridine, processes therefor and uses thereof / Fadli A. заявл. 03.12.2010; опубли. 16.06.2011.
26. Sobhani-Nasab A. et al. Five-component domino synthesis of tetrahydropyridines using hexagonal PbCr x Fe12- x O19 as efficient magnetic nanocatalyst // *Research on Chemical Intermediates*. 2017. T. 43. № 11. C. 6155-6165.
27. Tjosås F., Pettersen N.M., Fiksdahl A. α -(3-Pyridyl)malonates: preparation and synthetic applications // *Tetrahedron*. 2007. V. 63. P. 11893-11901.
28. Türker L., Váriş S. A review of polycyclic aromatic energetic materials // *Polycyclic Aromatic Compounds*. 2009. T. 29. № 4. C. 228-266.
29. Varvaresou A., Iakovou K. Derivatives of 5-Oxy-pyrido[2,3-b]quinoxaline-9-carboxylic Acid: A Tricyclic System Useful for the Synthesis of Potential Intercalators // *J. Heterocyclic Chem.* 2002. V. 39. P. 1173.

30. Vitaku E., Smith D. T., Njardarson J. T. Analysis of the structural diversity, substitution patterns, and frequency of nitrogen heterocycles among US FDA approved pharmaceuticals: miniperspective // *Journal of medicinal chemistry*. 2014. T. 57. № 24. C. 10257-10274.
31. Winkler M., Cakir B., Sander W. 3, 5-Pyridyne A Heterocyclic meta-Benzynes Derivative // *Journal of the American Chemical Society*. 2004. T. 126. № 19. C. 6135-6149.
32. Zhang L. Y. et al. Synthetic optimization of TACOT-derived nitrogen-rich energetic compounds and reaction mechanism research // *Synthetic Communications*. 2021. T. 51. № 18. C. 2808-2816.

References

1. Besprozvannykh V.G., Pervadchuk V.P. *Nelineynaya optika: ucheb. posobiye*. [Nonlinear optics: a tutorial.]. Perm': Izd-vo Perm. gos. tekhn. un-ta, 2011, 200 p.
2. Ivanova E.V., Nikishina M.B., Mukhtarov L.G., Shakhkeldyan I.V., Atroschenko Yu.M. Methods of synthesis of nitropyridines. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. V. 13. No. 6. P. 177-200. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-177-200>
3. Ivanova E.V., Nikishina M.B., Tretyakova A.V., Mukhtarov L.G., Perekomov L.V., Atroschenko Yu.M. Study of fungicidal activity of new derivatives of 7-R-1,5-dinitro-3,7-diazabicyclo[3.3.1]nonan-2-she. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. V. 13. No. 5. P. 307-320. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-5-307-320>
4. Ryabova S.Yu., Surovtsev V.V. Pat. WO2013129973 A1. 2-nitrogeterylthiocyanates for the treatment of fungal infections, pharmaceutical composition and their use / application 02/27/2013; publ. 09/06/2013.
5. Singh M.S., Chowdhury S. Recent developments in the field of multicomponent solvent-free reactions: ideal synergy for environmentally compatible organic synthesis. *Rsc Advances*. 2012. V. 2. No. 11. p. 4547-4592.
6. Andreassen E.J., Bakke J.M. Preparation of 6-azaoxindole (6-azaindol-2(3H)-one) and substituted derivatives // *J. Heterocyclic Chem*. 2006. V. 43. P. 49-54.
7. Andreassen E.J., Bakke J.M., Sletvold I., Svendsen H. Nucleophilic alkylations of 3-nitropyridines. *Org. Biomol. Chem*. 2004. V. 2. P. 2671-2676.
8. Asghar B. H. Kinetic and equilibrium studies of σ -adduct formation and nucleophilic substitution in the reactions of 2-chloro-3, 5-dinitropyridine and 2-ethoxy-3, 5-dinitropyridine with p-substituted anilines in DMSO. *Monatshfte für Chemie-Chemical Monthly*. 2013. V. 144. No. 3. C. 301-306.
9. Badgujar D.M., Talawar M.B., Asthana S.N., Mahulikar P.P. Advances in science and technology of modern energetic materials: An overview. *Journal of Hazardous Materials*. 2008. V. 151. P. 289-305.

10. Benjahad A. et al. 3-Iodo-4-phenoxy pyridinones (IOPY's), a new family of highly potent non-nucleoside inhibitors of HIV-1 reverse transcriptase. *Bioorganic & medicinal chemistry letters*. 2003. V. 13. No. 24. P. 4309-4312.
11. Bhuvaneshwari D.S., Elango K.P. Solvent hydrogen bonding and structural effects on reaction of 2-chloro-3,5-dinitropyridine with para-substituted anilines in dimethylformamide/acetonitrile mixtures. *Journal of the Indian Chemical Society*. 2011. V. 88. P. 1547-1551.
12. Bosshard C. et al. Organic nonlinear optical materials. CRC press. 2020.
13. Buss A.D., Butler M.S. Natural Product Chemistry for Drug Discovery. The Royal Society of Chemistry: Cambridge. UK. 2010.
14. da Silva J. P. et al. Electrochemical, mechanistic, and DFT studies of amine derived diphosphines containing Ru (II)cymene complexes with potent in vitro cytotoxic activity against HeLa and triple-negative breast cancer cells MDA-MB-231. *Dalton Transactions*. 2020. V. 49. No. 45. P. 16498-16514.
15. Ferrari A. C. et al. Science and technology roadmap for graphene, related two-dimensional crystals, and hybrid systems. *Nanoscale*. 2015. V. 7. No. 11. P. 4598-4810.
16. Kamanina N. V. Optical investigations of a C70-doped 2-cyclooctylamino-5-nitropyridine–liquid crystal system. *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics*. 2002. V. 4. No. 5. P. 571.
17. Katada I. Polarization of aromatic heterocyclic compounds. LIII. Deoxidation of pyridine and quinoline 1-oxides by thermal decomposition. *J. Pharm. Soc. Japan*. 1947. V. 67. P. 53-55.
18. Kodimuthali A. et al. A simple synthesis of aminopyridines: Use of amides as amine source. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 2010. V. 21. P. 1439-1445.
19. Komor R. et al. Application of different alpha-1-thioglycosides preparation methods in synthesis of 5-nitro-2-pyridyl 1-thioglycosides substrates in synthesis of conjugates with uridine moiety. Part I. *Acta Poloniae Pharmaceutica*. 2012. V. 69. No. 6. P. 1259-1269.
20. Kuduk S.D., Di Pardo R.M., Bock M.G. Tetrabutylammonium Salt Induced Denitration of Nitropyridines: Synthesis of Fluoro-, Hydroxy-, and Methoxy-pyridines. *Org. Lett*. 2005. V. 7. P. 577-579.
21. Kumar N., Singh G., Khatoun S., Yadav A.K. Synthesis and antimicrobial activities of novel 10H-pyrido[3,2-b][1,4]benzo[b]thiazine ribofuranosides. *Indian Journal of Chemistry, Section B: Organic Chemistry Including Medicinal Chemistry*. 2003. V. 42. P. 2015-2018.
22. Lach F., Koza P. Practical Way to Imidazo [4, 5-b] and [4, 5-c] Pyridine-2-ones via Cascade Ureidation/Palladium-Catalyzed Cyclization. *ACS Combinatorial Science*. 2012. V. 14. No. 9. P. 491-495.

23. Ling C.G., Lu S. Synthesis of new unsymmetric N,N'-dipyridylurea derivatives by selenium and selenium dioxide-catalyzed reductive carbonylation of substituted nitropyridines. *Tetrahedron*. 2003. V. 59. P. 8251-8256.
24. Murugan R. Pyridines: from lab to production. Chapter 4 - Substituent Modifications. *Best Synthetic Methods*. 2013. P. 375-411.
25. Fadli A. Pat. WO2011/69898 A1. Novel cationic aminopyridines, dye composition comprising a cationic aminopyridine, processes therefor and uses thereof / application. 03.12.2010; publ. 16.06.2011.
26. Sobhani-Nasab A. et al. Five-component domino synthesis of tetrahydropyridines using hexagonal PbCr_xFe_{12-x}O₁₉ as efficient magnetic nanocatalyst. *Research on Chemical Intermediates*. 2017. V. 43. No. 11. P. 6155-6165.
27. Tjosås F., Pettersen N.M., Fiksdahl A. α -(3-Pyridyl)malonates: preparation and synthetic applications. *Tetrahedron*. 2007. V. 63. P. 11893-11901.
28. Türker L., Variş S. A review of polycyclic aromatic energetic materials. *Polycyclic Aromatic Compounds*. 2009. V. 29. No. 4. P. 228-266.
29. Varvaresou A., Iakovou K. Derivatives of 5-Oxy-pyrido[2,3-b]quinoxaline-9-carboxylic Acid: A Tricyclic System Useful for the Synthesis of Potential Intercalators. *J. Heterocyclic Chem.* 2002. V. 39. P. 1173.
30. Vitaku E., Smith D. T., Njardarson J. T. Analysis of the structural diversity, substitution patterns, and frequency of nitrogen heterocycles among US FDA approved pharmaceuticals: miniperspective. *Journal of medicinal chemistry*. 2014. V. 57. No. 24. P. 10257-10274.
31. Winkler M., Cakir B., Sander W. 3, 5-Pyridyne A Heterocyclic meta-Benzyne Derivative. *Journal of the American Chemical Society*. 2004. V. 126. No. 19. P. 6135-6149.
32. Zhang L. Y. et al. Synthetic optimization of TACOT-derived nitrogen-rich energetic compounds and reaction mechanism research. *Synthetic Communications*. 2021. V. 51. No. 18. P. 2808-2816.

ВКЛАД АВТОРОВ

Иванова Е.В.: разработка концепции научной работы, составление черновика рукописи.

Сурова И.И.: подбор статей по изучаемой тематике, их анализ и систематизация.

Никишина М.Б.: перевод англоязычных статей на русский язык.

Мухторов Л.Г.: перевод англоязычных статей на русский язык.

Шахкельдян И.В.: анализ научной работы, критический пересмотр с внесением ценного интеллектуального содержания.

Атрошенко Ю.М.: разработка концепции научной работы, редактирование черновика рукописи.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Evgeniya V. Ivanova: development of the concept of scientific work, compilation of a draft manuscript.

Irina I. Surova: selection of articles on the subject under study, their analysis and systematization.

Maria B. Nikishina: translation of English-language articles into Russian.

Loik G. Mukhtorov: translation of English-language articles into Russian.

Irina V. Shahkeldyan: analysis of scientific work, critical revision with the introduction of valuable intellectual content.

Yuri M. Atroshchenko: development of the concept of scientific work, editing the draft of the manuscript.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Иванова Евгения Владимировна, доцент кафедры химии, к.х.н., доцент
Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого
пр. Ленина, 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
otela005@gmail.com

Сурова Ирина Игоревна, доцент кафедры химии, к.х.н.
Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого
пр. Ленина, 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
eledhwen_1@mail.ru

Никишина Мария Борисовна, заведующий кафедрой химии, к.х.н., доцент
Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого
пр. Ленина 125, г. Тула, 300026, Россия,
тата-67@mail.ru

Мухторов Лоик Гургович, научный сотрудник кафедры химии, к.х.н.
Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого
пр. Ленина, 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
mukhtorov.loik@mail.ru

Шахкельдян Ирина Владимировна, декан факультета естественных наук, д.х.н., профессор
Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого
пр. Ленина, 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
ira.shakheldyan@mail.ru

Атрошенко Юрий Михайлович, ведущий научный сотрудник кафедры химии, д.х.н., профессор
Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого
пр. Ленина, 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
reaktiv@tsput.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Evgeniya V. Ivanova, Associate Professor of the Department of Chemistry, Ph.D., Associate Professor
Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University
125, Lenina Ave., Tula, 300026, Russian Federation
omela005@gmail.com

Irina I. Surova, Associate Professor of the Department of Chemistry, Ph.D.
Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University
125, Lenina Ave., Tula, 300026, Russian Federation
eledhwen_1@mail.ru

Maria B. Nikishina, Head of the Department of Chemistry, Ph.D., Associate Professor
Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University
125, Lenina Ave., Tula, 300026, Russian Federation
glazynovaaanastasiya@gmail.com

Loik G. Mukhtorov, Researcher of the Department of Chemistry, Ph.D.
Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University
125, Lenina Ave., Tula, 300026, Russian Federation
mukhtorov.loik@mail.ru

Irina V. Shahkeldyan, Dean of the Faculty of Natural Sciences, Doctor of Chemistry, Professor

*Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University
125, Lenina Ave., Tula, 300026, Russian Federation
ira.shakheldyan@mail.ru*

Yuri M. Atroshchenko, Leading Researcher of the Department of Chemistry,
Doctor of Chemistry, Professor
*Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University
125, Lenina Ave., Tula, 300026, Russian Federation
reaktiv@tsput.ru*

Поступила 01.07.2022

После рецензирования 28.08.2022

Принята 04.09.2022

Received 01.07.2022

Revised 28.08.2022

Accepted 04.09.2022

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

INTERDISCIPLINARY RESEARCH

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-402-415

УДК 339



Научная статья | Сельское хозяйство в мировой экономике

**ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО
СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ
СТРУКТУРЫ АРГЕНТИНЫ***И.А. Аксенов, П.Н. Афонин, И.В. Греков, А.С. Абрамов*

Обоснование. Аргентина – одна из наиболее крупных и развитых в социально-экономическом отношении стран Латинской Америки. Применение современных сельскохозяйственных технологий в аргентинских равнинах и новых методов судоходства позволило Аргентине начать экспорт сельскохозяйственной продукции в Европу. Серия сырьевых бумов обогатила Аргентину и сделала ее одной из крупнейших экономик мира в начале XX века.

Цель заключается в проведении анализа и выявлении проблем и перспектив развития сельскохозяйственной структуры в Аргентине.

Материалы и методы. В исследовании авторами были использованы аналитические материалы Экономической комиссии ООН и иных международных организаций по странам Латинской Америки, обзоры и отчеты Центрального банка, Института статистики, Министерства экономики и общественных финансов, Министерства иностранных дел. В данной работе были использованы диалектический, системный, исторический, логический, формально-юридический, сравнительный методы исследования.

Результаты. Благодаря обилию соответствующих земельных и природных ресурсов, благоприятному климату на большей части территории страны и в целом низкой активности сельскохозяйственных вредителей в Аргентине сельскохозяйственный комплекс развивается активно. Однако существует целый ряд других факторов, которые мешают аргентинским фермерам в полной мере осуществлять свою деятельность максимально эффективно.

Заключение. Политика в агропромышленном секторе Аргентины достаточно противоречива. Несмотря на развитие цифровых сервисов и современных информационных технологий по поддержке сельхозпроизводителей, внедрение прогрессивных программ по поддержке экспорта, достаточно мощную инфраструктуру по всему циклу производства продукции АПК, правительство Аргентины время от времени прибегает к использованию серьезных экспортных барьеров для поддержания внутреннего рынка, что в целом отражается на Агарном секторе не всегда положительно.

Ключевые слова: сельское хозяйство; Аргентина; экспорт; цифровые сервисы; сельхозпроизводители

Для цитирования. Аксенов И.А., Афонин П.Н., Греков И.В., Абрамов А.С. Оценка современного состояния сельскохозяйственной структуры Аргентины // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №1. С. 402-415. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-402-415

Original article | Agriculture in the Global Economy

ASSESSMENT OF THE CURRENT STATE OF THE AGRICULTURAL STRUCTURE OF ARGENTINA

I.A. Aksenov, P.N. Afonin, I.V. Grekov, A.S. Abramov

Background. Argentina is one of the largest and most developed socio-economic countries in Latin America. The use of modern agricultural technologies in the Argentine plains and new methods of shipping allowed Argentina to start exporting agricultural products to Europe. A series of commodity booms enriched Argentina and made it one of the largest economies in the world at the beginning of the 20th century.

Purpose is to analyze and identify problems and prospects for the development of the agricultural structure in Argentina.

Materials and methods. In the study, the authors used analytical materials of the UN Economic Commission and other international organizations on the countries of Latin America, reviews and reports of the Central Bank, the Institute of Statistics, the Ministry of Economy and Public Finance, the Ministry of Foreign Affairs. In this work, dialectical, systemic, historical, logical, formal-legal, comparative research methods were used.

Results. *Due to the abundance of appropriate land and natural resources, the favorable climate in most of the country and the generally low activity of pests, agricultural in Argentina is not particularly limited by natural conditions. However, there are a number of other factors that prevent Argentine farmers from fully operating as efficiently as possible.*

Conclusion. *Argentina's agro-industrial policy is quite contradictory. Despite the development of digital services and modern information technologies to support agricultural producers, the introduction of progressive export support programs, a fairly powerful infrastructure throughout the entire production cycle of agricultural products, the Argentine government from time to time resorts to using serious export barriers to maintaining the domestic market, which in general affects the Agar sector is not always positive.*

Keywords: *agriculture; Argentina; export; digital services; agricultural producers*

For citation. *Aksenov I.A., Afonin P.N., Grekov I.V., Abramov A.S. Assessment of the Current State of the Agricultural Structure of Argentina. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 402-415. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-402-415*

Введение

Аргентина – одна из наиболее крупных и развитых в социально - экономическом отношении стран Латинской Америки. Природной основой экономического развития страны послужили, прежде всего, ее богатые земельные ресурсы. Аргентина обладает одной из щедро одаренных природой областей земного шара: это обширные степные пространства Пампы с богатой травянистой растительностью и огромными массивами плодородных черноземных почв.

Применение современных сельскохозяйственных технологий в аргентинских пампасах (равнинах) и новых методов судоходства позволило Аргентине начать экспорт сельскохозяйственной продукции в Европу. Серия сырьевых бумов обогатила Аргентину и сделала ее одной из крупнейших экономик мира в начале XX века. С тех пор экономика Аргентины переживала циклы бумов и спадов, а аргентинское правительство боролось за сдерживание инфляции и поддержание стабильного обмена валюты.

Материалы и методы

Теоретической и информационной базой исследования стали работы известных специалистов по проблемам международных экономических отношений: Быков Г.Е.[1], Папцов А.Г.[5], Семенович В.С.[8], Смагина А.В.[10].

Особое внимание при проведении исследования обращалось на латиноамериканских экономистов и социологов: Puertas J.[13], Carmona-Zabala J.[14], Lupi, A.[17], Vera-Candiotti J.[21].

В исследовании широко использовались аналитические материалы и статистические сборники Экономической комиссии ООН для стран Латинской Америки и Карибского бассейна [22], других международных организаций, обзоры и отчеты Центрального банка [23], Института статистики и цензов [24], Министерства экономики и общественных финансов [25], Министерства иностранных дел и культа Аргентины [26].

В данной работе были использованы диалектический, системный, исторический, логический, формально-юридический, сравнительный методы исследования.

Результаты исследования

По меньшей мере 54 цифровых сельскохозяйственных стартапа в настоящее время работают и набирают обороты в агросекторе Аргентины, включая сельскохозяйственные биотехнологии, программное обеспечение для управления фермерскими хозяйствами, дистанционное зондирование [15, 16, 21].

Аргентинские инновации, включая внедрение цифровых технологий в сельском хозяйстве, в основном осуществляются частным сектором. Двумя важными инициативами частного сектора, возглавляемыми ассоциациями фермеров, являются Аргентинская ассоциация региональных консорциумов сельскохозяйственных экспериментов (AACREA) и Аргентинская ассоциация по производству продуктов (AAPRESID). AACREA фокусируется на предоставлении эффективных технологических решений для конкретных проблем посредством исследований и экспериментов, а также на содействии передаче технологий, обмену знаниями и опытом. AAPRESID, в свою очередь, фокусируется на внедрении устойчивых методов ведения сельского хозяйства и передаче технологий устойчивого сельскохозяйственного производства. Обе эти ассоциации играют важную роль в поощрении предпринимательства и инноваций, сотрудничая с частными и государственными организациями, например, с Национальным институтом сельского хозяйства и технологий (INTA) [18].

Таким образом, Аргентина заложила прочную основу для цифровых сельскохозяйственных решений, и ее экосистема цифрового сельского хозяйства процветает. Как отмечается в исследовании ФАО «Digital Agriculture Profile of Argentina», тарифы на подключение и подписку к

цифровым аргентинским ресурсам по сельскому хозяйству высоки, однако ряд цифровых решений доказали свою практическую применимость и эффективность. Это говорит о большом потенциале для повышения уровня цифровизации в сельском хозяйстве Аргентины.

Основным актом в сфере аргентинской продовольственной безопасности является Аргентинский продовольственный кодекс (Codigo Alimentario Argentino - САА), принятый в 1969 году. САА состоит из 22 глав, охватывающих темы от маркировки пищевых продуктов и рекламы до применения пищевых добавок. Положения данного акта регулярно обновляются совместными резолюциями Министерства сельского хозяйства, животноводства и рыболовства, и Министерства здравоохранения и социального обеспечения [19].

Обеспечение соблюдения САА устанавливается Декретом № 815/1999, который позволяет создать Национальную систему инспекции пищевых продуктов (Sistema Nacional de Control de Alimentos - SNCA) для обеспечения соблюдения САА. SNCA состоит из представителей Министерства здравоохранения и социального развития и Министерства сельского хозяйства, животноводства и рыболовства, а полномочия по обеспечению соблюдения делегированы трем правительственным ведомствам, в числе которых [19, 20]:

- Национальная служба агропродовольственной безопасности и качества (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria - SENASA) в составе Министерства сельского хозяйства, животноводства и рыболовства. SENASA несет ответственность за выполнение всех направлений продовольственной политики, изданных федеральным правительством, которые касаются здоровья животных и растений, и за обеспечение соблюдения Продовольственного кодекса в отношении всех свежих пищевых продуктов, перечисленных в разделе Приложения I и II к Декрету № 815-99.43. Продукты, перечисленные в этих приложениях, включают свежее и замороженное мясо, птицу, рыбу, овощи, фрукты и мед;

- Национальный институт вина (Instituto Nacional de Vitivinicultura - INV) при Министерстве сельского хозяйства, животноводства и рыболовства;

- Национальный институт продовольствия (Instituto Nacional de Alimentos - INAL) в составе Национального управления лекарственных средств, пищевых продуктов и медицинских технологий (Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica - ANMAT) при Министерстве здравоохранения. INAL несет ответственность за выполнение всех направлений продовольственной политики, изданных федеральным правительством в отношении качества обработанных пищевых продуктов, а также за обеспечение соблюдения САА в отношении этих продуктов.

Обсуждение

Благодаря обилию соответствующих земельных и природных ресурсов, благоприятному климату на большей части территории страны и в целом низкой активности сельскохозяйственных вредителей в Аргентине АПК – один из перспективных отраслей. Однако существует целый ряд других факторов, которые мешают аргентинским фермерам в полной мере осуществлять свою деятельность максимально эффективно, в том числе по части экспорта продукции за рубеж [2, 11].

Во-первых, доступ к кредитам, особенно для мелких фермеров, практически невозможен, поскольку фактические ставки колеблются между 24 и 36 процентами в год. Эти ставки препятствуют крупным инвестициям (как в сельское хозяйство, так и в другие отрасли).

Во-вторых, многие производители жалуются на ограниченную доступность биопестицидов. SENASA, компетентный орган по аккредитации в сфере органики, публикует в приложении к национальному органическому законодательству список всех разрешенных препаратов [12]. Однако иностранные препараты должны быть протестированы не менее трех лет в аргентинских научно-исследовательских институтах (INTA), прежде чем они включаются в список. В последние десятилетия INTA перешла от предоставления исследовательских и консультационных услуг к выполнению дополнительных функций в реализации программ социального и сельского развития, в основном на уровне регионов. Хотя активность вредителей, как правило, невелика, отсутствие достаточных средств для борьбы с ними снижает урожай, прибыль фермеров, и, как итог, объемы экспорта [6].

В-третьих, в течение последнего десятилетия Аргентина ввела экспортные пошлины, которые особенно высоки для наиболее распространенных и популярных зерновых продуктов. Налоговые ставки достигли пика в середине 2018 года, и хотя с тех пор они снизились, их величина всё ещё высока (пшеница - 23%, кукуруза - 20%, соевые бобы - 35%) [9]. Кроме того, начиная с начала 2016 года, эти барьеры были усилены иными жесткими ограничениями в виде прямого запрета на экспорт в отношении некоторых категорий сельскохозяйственной продукции. На международном уровне эта политика, как известно, привела к сокращению предложения и повышению уровня мировых цен и нестабильности [4].

Тем не менее, благодаря своему климату, естественному плодородию почвы и другим условиям в сочетании с низкой активностью вредителей, сельскохозяйственное производство возможно практически на всей территории страны, без серьезных трудностей или сильной корректировки традиционных методов производства [7].

Однако природные условия не в полной мере «ответственны» за успех аргентинского сельхозсектора. Прагматичный подход правительства Аргентины к разработке передовых нормативно-правовых актов, регламентирующих данную сферу, проложил путь к международному признанию закрепленных в них правил в отношении органического земледелия, что стало стимулом для многих фермеров отказаться от традиционной экстенсивной концепции ведения сельского хозяйства [3].

Кроме того, расположение Аргентины в Южном полушарии позволяет стране экспортировать свежие сельхозпродукты в то время, когда производство на северных рынках аналогичных товаров попросту отсутствует. К этой категории, к примеру, относятся различные экзотические фрукты и овощи, произрастающие только в странах Южноамериканского региона.

Наконец, прочные исторические связи с Европой, самым быстрорастущим рынком потребления сельхозпродукции, и репутация Аргентины как экспортера сельскохозяйственной продукции в сочетании с хорошими морскими и воздушными связями способствовали развитию ее сектора агропромышленного экспорта.

Заключение

Таким образом, Аргентина за весь период осуществления внешнеторговых операций в сфере экспорта сельскохозяйственного сырья и готовой продукции закрепила за собой репутацию одного из крупнейших сельхозпроизводителей мира. Между тем, политика в агропромышленном секторе достаточно противоречива. Несмотря на развитие цифровых сервисов по поддержке сельхозпроизводителей, внедрение прогрессивных программ по поддержке экспорта, достаточно мощную инфраструктуру по всему циклу производства продукции АПК, правительство Аргентины время от времени прибегает к использованию серьезных экспортных барьеров для поддержания внутреннего рынка, от чего, в конечном итоге, страдает сам экспорт.

Информация о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Быков Г. Е. Экономический кризис в Аргентине, связанный с дефолтом в декабре 2001 г., и роль сельского хозяйства в его преодолении. (США) // Экономика сельского хозяйства. Реферативный журнал. 2005. № 2. С. 423.

2. Казаков В. П. Аграрный вопрос в Аргентине в конце XIX - начале XX вв // Латиноамериканский исторический альманах. 2014. № 14. С. 103-133.
3. Казаков В. П. Аграрный вопрос в общественной мысли Аргентины (1850-1870-е гг.) The Agrarian problem in the social thought of Argentina (1850-1870) // Латиноамериканский исторический альманах. 2013. № 13. С. 95-121.
4. Казаков В. П. Идеологи Майской революции в Аргентине // Латиноамериканский исторический альманах. 2015. № 15. С. 21-48.
5. Папцов А. Г. Экспорт и экспортная политика в агропродовольственной сфере Аргентины / А. Г. Папцов, Ж. Е. Соколова // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2020. № 10(67). С. 3-18. <https://doi.org/10.33938/2010-3>
6. Попкова И. А. Организация использования земель в Аргентине // Кадастр недвижимости, геодезия, организация землепользования: опыт практического применения: Материалы всероссийской (национальной) заочной научно-практической конференции, Барнаул, 20 апреля 2021 года. Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2021. С. 57-65.
7. Разумовский Д. В. Сельское хозяйство Аргентины: особенности развития, экологические условия и перспективы модернизации // Латинская Америка: проблемы модернизации в контексте устойчивого развития : сборник докладов научной конференции / Ин-т Латинской Америки Российской академ. наук ; [редкол. : А. В. Бобровников, В. А. Теперман, М. Л. Чумакова]. Москва: ИЛА РАН, 2007. С. 185-197.
8. Семенович В. С. Проблемы современной аграрной политики в развивающихся странах / В. С. Семенович, К. З. Э. Абдель, А. А. Урынгадиева // Известия Международной академии аграрного образования. 2018. № 39. С. 160-164.
9. Сиротинкина Т. Н. Аграрный потенциал Аргентины и его реализация с целью наращивания с.-х. экспорта, а также развитие соевого подкомплекса АПК этой страны в 1995-2008 гг. (ФРГ) // Экономика сельского хозяйства. Реферативный журнал. 2010. № 2. С. 417.
10. Смагина А. В. Роль концепции устойчивого развития в экономической политике Аргентины и Бразилии / А. В. Смагина, А. В. Щербакова // Латинская Америка. 2019. № 5. С. 52-63. <https://doi.org/10.31857/S0044748X0004720-1>
11. Хайруллина О. И. Агропродовольственная политика в продвижении экспорта сельскохозяйственной продукции: опыт Аргентины // Электронное сетевое издание «Международный правовой курьер». 2019. № 3. С. 39-45.
12. Aksenov I.A. Development of state support for export of agricultural products as an element of the integration policy of the Eurasian economic union // Siberian

- Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021, vol. 13 (4), pp. 273-296. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-4-273-296>
13. Araneda-Cabrera R.J., Bermúdez M., Puertas J. Benchmarking of drought and climate indices for agricultural drought monitoring in Argentina // *Science of the Total Environment*, 2021, vol. 790, Article № 148090.
 14. Carmona-Zabala J., Panagiotopoulos D. Agricultural productivism, cosmopolitan plant-breeding, and the severed roots of agroecological thought // *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 2022, vol. 46 (1), pp. 133-158. <https://doi.org/10.1080/21683565.2021.1962476>
 15. Garcias Y., Astorga R.T., Ojeda G., de los Santos Villalobos S., Tejada S., Velasco H. Using geochemical fingerprints for assessing sediment source apportionment in an agricultural catchment in central Argentina // *Water (Switzerland)*, 2022, vol. 13 (24), Article № 3632.
 16. Klein H.S., Vidal Luna F. The growth of the soybean frontier in south America: The case of Brazil and Argentina // *Revista de Historia Economica - Journal of Iberian and Latin American Economic History*, 2021, vol. 39 (3), pp. 427-468.
 17. Lupi, A., Steinbach, H.S., Ciarlo, E., Romaniuk, R., Cosentino, V.R.N., Rimski-Korsakov, H., Alvarez, C.R. Organic carbon stored in soils under different land uses and soil textures in southeast Argentinean Mesopotamia // *Geoderma Regional*, 2021, vol. 27, Article № e00435.
 18. Mac Loughlin T.M., Peluso M.L., Marino D.J.G. Multiple pesticides occurrence, fate, and environmental risk assessment in a small horticultural stream of Argentina // *Science of the Total Environment*, 2022, vol. 802, Article № 149893. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149893>
 19. Nguyen O.T.H., Aksenov I., Phan N.T., Sakulyeva T. Russia's foreign policy priorities in the Asia-Pacific region // *Journal of Public Affairs*, 2021. <https://doi.org/10.1002/pa.2745>
 20. Petitti M. Los organismos financieros internacionales y la educación rural en Argentina: Un estudio del Programa EMER en la provincia de Entre Ríos (1978-1992) // *Avances Del Cesor*, 2020, vol. 17(23). <https://doi.org/10.35305/ac.v17i23.1292>
 21. Vera-Candiotti J., Araujo P.I., Huerga I.R., Rojas D.E., Cristos D.S., Malmantile A.D. Pesticides detected in surface and groundwater from agroecosystems in the Pampas region of Argentina: occurrence and ecological risk assessment // *Environmental Monitoring and Assessment*, 2021, vol. 193 (10), Article № 689.
 22. Экономическая комиссия ООН для стран Латинской Америки и Карибского бассейна. <http://data.un.org/en/reg/g419.html> (дата обращения 03.02.2022)
 23. Центральный банк Аргентины. <http://www.bcra.gov.ar/> (дата обращения 01.03.2022)

24. Национальный институт статистики и переписи Аргентины. <https://www.indec.gov.ar/el-indec-eng.asp> (дата обращения 01.02.2022)
25. Министерство экономики Аргентины. <https://www.argentina.gob.ar/economia/finanzas> (дата обращения 01.03.2022)
26. Министерство иностранных дел и культуры Аргентины. <https://cancilleria.gob.ar/es/politica-exterior/antartida> (дата обращения 01.03.2022)

References

1. Быков Г. Ye. Ekonomicheskiy krizis v Argentine, svyazanny s de-foltom v dekabre 2001 g., i rol' sel'skogo khozyaystva v yego preodolenii. (SSHA) [The economic crisis in Argentina associated with the default in December 2001 and the role of agriculture in overcoming it. (USA)]. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva. Referativnyy zhurnal* [Agricultural Economics. Abstract journal], 2005, no. 2, p. 423.
2. Kazakov V. P. Agrarnyy vopros v Argentine v kontse XIX - nachale XX vv [Agrarian issue in Argentina in the late XIX - early XX centuries]. *Latinoamerikanskiy istoricheskiy al'manakh* [Latin American Historical Almanac], 2014, no. 14, pp. 103-133.
3. Kazakov V. P. Agrarnyy vopros v obshchestvennoy mysli Argentiny (1850-1870-ye. gg.) The Agrarian problem in the social thought of Argentina (1850-1870) [Agrarian problem in the social thought of Argentina (1850-1870)]. *Latinoamerikanskiy istoricheskiy al'manakh* [Latin American Historical Almanac], 2013, no. 13, pp. 95-121.
4. Kazakov V. P. Ideologi Mayskoy revolyutsii v Argentine [Ideologists of the May Revolution in Argentina]. *Latinoamerikanskiy istoricheskiy al'manakh* [Latin American Historical Almanac], 2015, no. 15, pp. 21-48.
5. Paptsov A. G., Sokolova ZH. Ye. Eksport i eksportnaya politika v agroproduktivnoy sfere Argentiny [Export and export policy in the agro-food sector of Argentina]. *Ekonomika, trud, upravleniye v sel'skom khozyaystve* [Economics, labor, management in agriculture], 2020, no. 10(67), pp. 3-18.
6. Popkova I. A. Organizatsiya ispol'zovaniya zemel' v Argentine [Organization of land use in Argentina]. *Kadastr nedvizhimosti, geodeziya, organizatsiya zemlepol'zovaniya: opyt prakticheskogo primeneniya: Materialy vserossiyskoy (natsional'noy) zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Barnaul, 20 aprelya 2021 goda* [Cadastr of real estate, geodesy, organization of land use: practical experience: Materials of the All-Russian (national) correspondence scientific and practical conference, Barnaul, 20 April 2021]. Barnaul: Altai State Agrarian University, 2021, pp. 57-65.
7. Razumovskiy D. V. Sel'skoye khozyaystvo Argentiny: osobennosti razvitiya, ekologicheskiye usloviya i perspektivy modernizatsii [Agriculture in Argentina: features of development, ecological conditions and perspectives of modernization].

- tures of development, environmental conditions and prospects for modernization]. *Latinskaya Amerika: problemy modernizatsii v kontekste ustoychivogo razvitiya : sbornik dokladov nauchnoy konferentsii* [Latin America: problems of modernization in the context of sustainable development: collection of reports of a scientific conference] / Institute of Latin America Russian acad. Sciences, 2007, pp. 185-197.
8. Semenovich V. S., Abdel' K. Z. E., Uryngaliyeva A. A. Problemy sovremennoy agrarnoy politiki v razvivayushchikhsya stranakh [Problems of modern agrarian policy in developing countries]. *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya* [Proceedings of the International Academy of Agrarian Education], 2018, no. 39, pp. 160-164.
 9. Sirotinkina T. N. Agrarnyy potentsial Argentiny i yego realiza-tsiya s tsel'yu narashchivaniya s.-kh. eksporta, a takzhe razvitiye soyevogo podkom-pleksa APK etoy strany v 1995-2008 gg. (FRG) [Agrarian potential of Argentina and its implementation in order to increase agricultural production. exports, as well as the development of the soybean sub-complex of the agro-industrial complex of this country in 1995-2008. (Germany)]. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva. Referativnyy zhurnal* [Agricultural Economics. Abstract journal], 2010, no. 2, p. 417.
 10. Smagina A. V., Shcherbakova A. V. Rol' kontseptsii ustoychivogo razvitiya v ekonomiche-skoj politike Argentiny i Brazili [The role of the concept of sustainable development in the economic policy of Argentina and Brazil]. *Latinskaya Amerika* [Latin America], 2019, no. 5, pp. 52-63.
 11. Khayrullina O. I. Agroproduovol'stvennaya politika v prodvizhe-nii eksporta sel'skokhozyaystvennoy produktsii: opyt Argentiny [Agro-food policy in promoting the export of agricultural products: the experience of Argentina]. *Elektronnoye setevoye izdaniye «Mezhdunarodnyy pravovoy kur'yer»* [Electronic network publication "International Legal Courier"], 2019, no. 3, pp. 39-45.
 12. Aksenov I.A. Development of state support for export of agricultural products as an element of the integration policy of the Eurasian economic union. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13 (4), pp. 273-296. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-4-273-296>
 13. Araneda-Cabrera R.J., Bermúdez M., Puertas J. Benchmarking of drought and climate indices for agricultural drought monitoring in Argentina. *Science of the Total Environment*, 2021, vol. 790, Article № 148090.
 14. Carmona-Zabala J., Panagiotopoulos D. Agricultural productivism, cosmopolitan plant-breeding, and the severed roots of agroecological thought. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 2022, vol. 46 (1), pp. 133-158. <https://doi.org/10.1080/21683565.2021.1962476>
 15. Garcias Y., Astorga R.T., Ojeda G., de los Santos Villalobos S., Tejada S., Velasco H. Using geochemical fingerprints for assessing sediment source appor-

- tionment in an agricultural catchment in central Argentina. *Water (Switzerland)*, 2022, vol. 13 (24), Article № 3632.
16. Klein H.S., Vidal Luna F. The growth of the soybean frontier in south America: The case of Brazil and Argentina. *Revista de Historia Economica - Journal of Iberian and Latin American Economic History*, 2021, vol. 39 (3), pp. 427-468.
 17. Lupi, A., Steinbach, H.S., Ciarlo, E., Romaniuk, R., Cosentino, V.R.N., Rimski-Korsakov, H., Alvarez, C.R. Organic carbon stored in soils under different land uses and soil textures in southeast Argentinean Mesopotamia. *Geoderma Regional*, 2021, vol. 27, Article № e00435.
 18. Mac Loughlin T.M., Peluso M.L., Marino D.J.G. Multiple pesticides occurrence, fate, and environmental risk assessment in a small horticultural stream of Argentina. *Science of the Total Environment*, 2022, vol. 802, Article № 149893. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149893>
 19. Nguyen O.T.H., Aksenov I., Phan N.T., Sakulyeva T. Russia's foreign policy priorities in the Asia-Pacific region. *Journal of Public Affairs*, 2021. <https://doi.org/10.1002/pa.2745>
 20. Petitti M. Los organismos financieros internacionales y la educación rural en Argentina: Un estudio del Programa EMER en la provincia de Entre Ríos (1978-1992). *Avances Del Cesor*, 2020, vol. 17(23). <https://doi.org/10.35305/ac.v17i23.1292>
 21. Vera-Candiotti J., Araujo P.I., Huerga I.R., Rojas D.E., Cristos D.S., Malman-tile A.D. Pesticides detected in surface and groundwater from agroecosystems in the Pampas region of Argentina: occurrence and ecological risk assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2021, vol. 193 (10), Article № 689.
 22. United Nations Economic Commission for Latin America and the Caribbean. <http://data.un.org/en/reg/g419.html> (Accessed 03.02.2022)
 23. Central Bank of Argentina. <http://www.bcra.gov.ar/> (accessed 03/01/2022)
 24. National Institute of Statistics and Census of Argentina. <https://www.indec.gov.ar/el-indec-eng.asp> (accessed 01.02.2022)
 25. Ministry of Economy of Argentina. <https://www.argentina.gob.ar/economia/finanzas> (accessed 03/01/2022)
 26. Ministry of Foreign Affairs and Cult of Argentina. <https://cancilleria.gob.ar/es/politica-exterior/antartida> (accessed 03/01/2022)

ДАнные об авторах

Аксенов Илья Антонович, кандидат экономических наук, доцент кафедры государственное право и управление таможенной деятельностью *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный*

*университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
ул. Горького, 87, г. Владимир, 600000, Российская Федерация
il_aks@mail.ru*

Афонин Петр Николаевич, доктор технических наук, доцент, проректор по стратегическому развитию
*Федеральный государственный автономный образовательный учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
ул. Профессора Попова, 5, г. Санкт-Петербург, 197376, Российская Федерация
pnafonin@yandex.ru*

Греков Иван Владимирович, кандидат экономических наук, преподаватель кафедры экономики таможенного дела
*Государственное казенное образовательное учреждение высшего образования «Российская таможенная академия»
Комсомольский проспект, 4, г. Люберцы, Московская область, 140015, Российская Федерация
Grekovivan@gmail.com*

Абрамов Александр Сергеевич, кандидат экономических наук, преподаватель кафедры таможенного дела и внешнеэкономической деятельности
*Выборгский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации»
Ленинградский проспект, 11, г. Выборг, Ленинградская область, 188800, Российская Федерация
Abramovalr@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Иля А. Аксенов, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of State Law and Management of Customs Activities
Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletov

87, Gorky Str., Vladimir, 600000, Russian Federation

Il_aks@mail.ru

SPIN-code: 4145-4764

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0541-327X>

ResearcherID: O-6110-2017

Scopus Author ID: 57216752275

Petr N. Afonin, Doctor of Technical Sciences, Vice-Rector for Strategic Development

St. Petersburg Electrotechnical University “LETI”

5, Professor Popov Str., St. Petersburg, 197376, Russian Federation

pnafonin@yandex.ru

SPIN- code: 9536-9924

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1306-3743>

ResearcherID J-8495-2013

ScopusID 571 945 851 58

Ivan V. Grekov, Candidate of Economic Sciences, lecturer of the Department of Economics of Customs Affairs

State Educational Institution of Higher Education “Russian Customs Academy”

4, Komsomolsky Prospekt, Lyubertsy, Moscow, 140015, Russian Federation

Grekovivan@gmail.com

SPIN-code: 9320-8219

Aleksandr S. Abramov, Candidate of Economic Sciences, lecturer of the Department of Customs and Foreign economic activity

Vyborg Branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation”

11, Leningradskiy Prospekt, Vyborg, Leningradskaya oblast, 188800, Russian Federation

Abramovalr@mail.ru

SPIN-code: 3856-9151

Поступила 19.07.2022

После рецензирования 30.07.2022

Принята 17.08.2022

Received 19.07.2022

Revised 30.07.2022

Accepted 17.08.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-416-434

УДК 332.144



Научная статья | Региональная экономическая политика

КЛАСТЕР КАК ОСНОВА УСТОЙЧИВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ В СФЕРЕ АПК

*О.М. Цугленок, М.В. Абушенкова,
Р.Г. Ахмадеев, К.Э. Тюпаков*

Цель работы. Настоящая статья посвящена анализу понятия агропромышленного кластера и разработке рекомендаций по повышению конкурентоспособности в сфере АПК.

Материалы и методы. Методология проведения исследования основана на сборе и анализе исходных данных и информации. В статье использован системный подход к изучению социально-экономических процессов и явлений. Исследование опирается на современные теории конкуренции, инноватики, а также современную парадигму кластерного развития экономики.

Результаты. Проведенное исследование вносит определенный вклад в развитие теоретической науки. Предложена модель структуры регионального производственного сельскохозяйственного кластера. Практические рекомендации могут быть использованы хозяйственными и государственными органами управления, руководителями сельскохозяйственных организаций, крестьянских (фермерских) хозяйств, ЛПХ.

Заключение. Сделан вывод о том, что характерным чертам кластера и возникающим в нем эффектам повышается конкурентоспособность как отдельных участников кластера и кластера в целом, так и конкурентоспособность региона, в котором размещен кластер, что, в свою очередь, приводит к повышению конкурентоспособности национальной экономики.

Ключевые слова: региональная политика; кластер; участники кластера; конкурентоспособность предприятий

Для цитирования. Цугленок О.М., Абушенкова М.В., Ахмадеев Р.Г., Тюпаков К.Э. Кластер как основа устойчивого функционирования предприятий в сфере АПК // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №1. С. 416-434. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-416-434

Original article | Regional Economic Policy

CLUSTER AS THE BASIS FOR THE SUSTAINABLE FUNCTIONING OF ENTERPRISES IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

*O.M. Tsuglenok, M.V. Abushenkova,
R.G. Akhmadeev, K.E. Tyupakov*

Objective. *This article is devoted to the analysis of the concept of an agro-industrial cluster and the development of recommendations for improving competitiveness in the agro-industrial complex.*

Materials and methods. *The research methodology is based on the collection and analysis of initial data and information. The article uses a systematic approach to the study of socio-economic processes and phenomena. The study is based on modern theories of competition, innovation, as well as the modern paradigm of the cluster development of the economy.*

Results. *The conducted research makes a certain contribution to the development of theoretical science. A model of the structure of a regional industrial agricultural cluster is proposed. Practical recommendations can be used by economic and state authorities, heads of agricultural organizations, peasant (farm) enterprises, LPH.*

Conclusion. *It is concluded that the characteristic features of the cluster and the effects arising in it increase the competitiveness of both individual members of the cluster and the cluster as a whole, and the competitiveness of the region in which the cluster is located, which, in turn, leads to an increase in the competitiveness of the national economy.*

Keywords: *regional policy; cluster; cluster members; competitiveness of enterprises*

For citation. *Tsuglenok O.M., Abushenkova M.V., Akhmadeev R.G., Tyupakov K.E. Cluster as the basis for the sustainable functioning of enterprises in the agro-industrial complex. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 416-434. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-416-434*

Введение

В настоящее время экономические кластеры выступают в роли наиболее важных условий интенсификации инновационной активности практически каждого субъекта рыночной экономики.

Цель исследования состоит в том, чтобы рассмотреть региональный кластер как форма экономических отношений в региональной развитии.

В роли *гипотезы* настоящего исследования выступает предположение о том, что эффективное и планомерное развитие интегрированных систем позволит повысить эффективность работы не только всей системы, но и каждого ее предприятия в отдельности. В данном случае важно создавать кластер с учетом отраслевых и региональных особенностей развития территорий, а также учитывая особенности функционирования каждого предприятия кластерной системы.

В современных условиях цели и задачи агропромышленного комплекса Российской Федерации находятся в постоянном движении, они изменяются и трансформируются на протяжении длительного времени. Следовательно, политика, стратегия развития данной отрасли должна быть гибкой и адаптивной. Это основное требование к процессу разработки стратегических планов в сельскохозяйственной отрасли нашей страны. В связи с чем встает необходимость создания кластерной системы, которая позволит сделать агропромышленный комплекс более адаптивным, гибким и конкурентоспособным [1; 21]. Причем важно, чтобы кластерная система была многогранная и сложна, она должна обладать мультиплицирующим эффектом [3; 17].

В современном мире развитие любых отраслей неизбежно. Агропромышленные комплексы также претерпевают всевозможные изменения, которые частично или полностью меняют структуру предприятий, входящих в состав данных комплексов [13; 9; 22; 23]. Важно отметить, что в наши дни все еще актуально некое недопонимание в сфере построения агропромышленных кластеров. Они все чаще стали образовываться на территории России, но далеко не всем понят смысл таких объединений. В связи с чем, многим предприятиям и предпринимателям предельно важно понять, что представляет собой такие понятие как «агропромышленный комплекс».

Такой диссонанс объясняется тем, что понятие «кластер» все еще ново для современной экономики и многие не понимают его сути. Вторая причина состоит в том, что для многих предпринимателей Майкл Портер является ключевой фигурой в вопросах конкуренции [2]. И именно он одним из первых ввел в теорию и практику понятие «кластер». Но важно понимать, что Портер говорил о кластерах, как о сугубо географических объединениях. Иными словами, по его мнению, в кластерную систему могут входить только те предприятия, которые находятся в непосредственной близости друг от друга, располагаются в одном регионе. Причем данные

предприятия должны в обязательном порядке осуществлять свою деятельность в одном и том же хозяйственном сегменте [12; 18; 19; 15].

Конечно же, вопросы кластерных объединений волновали умы многих ученых, а не только Майкла Портера. До него идеи кластерного объединения уже были высказаны такими учеными, как Иоганн фон Тюнен и Альфред Маршалл. Конечно, они не высказывались четко по поводу кластерных объединений в сфере агропромышленного комплекса, тем не менее именно они создали предпосылки к более детальному изучению данного направления.

Как показывает анализ научной литературы, а в частности работ Иоганна фон Тюнена, ученый не вводил в практику термин «кластер». Он лишь высказал мнение о целесообразности объединения разных агропромышленных предприятий в некую единую цепь, которая позволит им развиваться более продуктивно и эффективно [6].

Наибольший интерес в данном случае представляет работа Тюнена под названием «Изолированное государство в его отношении к сельскому хозяйству и национальной экономике». Именно в этой работе ученый говорит о тонкостях правильного размещения предприятий агропромышленной направленности на одной территории. Правда все его выводы весьма абстрактны, в них практически отсутствует какая-то конкретика. Тем не менее данная работа представляет особый интерес для современных деятелей.

Тюнен высказывал мнение о то, что размещать те или иные предприятия сельского хозяйства необходимо по определенной схеме. Большинство из них должны располагаться за территорией городов, то есть Тюнен говорил о необходимости создания закрытой системы агропромышленного объединения. Причем он предлагал закрыть такие объединения и от любого вида внешнеэкономических связей. Не со всеми положениями ученого целесообразно соглашаться в наше время. Тем не менее принцип создания отдельных агропромышленных комплексов за пределами крупных городов актуален и в наши дни.

Если говорить о работах Альфреда Маршалла, то они в большей мере направлены на изучение преимуществ создания таких объединений. То есть он описывал, что ждет предприятия после создания кластеров, но не описывал систему их создания [7].

В рамках настоящего исследования важно отметить, что в работах Маршалла часто упоминается тема о локализации производственных процессов в сфере агропромышленной детальности. Он даже уделял особое внимание агропромышленным комплексам России. Так, по его мнению, на территории

России наблюдается яркая локализация агропромышленной сферы, иногда такая локализация поражает целые деревни. Причем одна деревня может производить только один вид продукции, а другая деревня другой. Такие локальные объединения, как пишет Маршалл, могут существовать на протяжении целых десятилетий и передаваться из поколения в поколение.

Спустя какое-то время Маршалл в своих работах высказала предположение по поводу причин такой яркой локализации производства в сфере сельского хозяйства. По его мнению, такая локализация обуславливается природными факторами, такими как состав почвы, погодные условия, наличие водоемов и так далее. Далеко не все функции аграрной промышленности можно выполнять в рамках одного региона как раз из-за погодных и инфраструктурных условий [24].

В начале 20 века Борис Сергеевич Ястремский занялся детальным изучением кластерного подхода на территории России. Он считал, что объединения возможны в аграрной сфере, но только по рядку определенных признаков:

1. Вид деятельности (скотоводство, растениеводство и так далее).
2. Площадь участка.
3. Численность скота.
4. Количество работников и так далее.

После Ястремского многие отечественные ученые стали уделять вопросам аграрных объединений более пристальное внимание. Так, первым подвижником данной темы выступает Борис Николаевич Книпович, который в 1921 году создал труд под названием «К методологии районирования», в котором подробно рассмотрел преимущества и возможности создания объединений. В своей работе он выделил весьма важный фактор для объединения – степень эффективности использования площади земли. То есть, он полагал, что объединиться могут лишь те компании или аграрии, кто понимает специфику своего труда и использует все свои мощности в полную силу [6].

Далее многие ученые стали проводить анализ данной сферы. К наиболее ярким представителям можно отнести Кондратьева Николая Дмитриевича, Челинцева Александра Николаевича и Скворцова Александра Ивановича. Все авторы высказывали разные теории, но у всех есть единые положения, которые касаются климатических и географических условий того или иного региона. Помимо всего прочего учитывались и социально-экономические особенности каждого региона, для которого актуально ведение сельского хозяйства [5].

В процессе проведенного исследования Александр Николаевич Челинцев выделил три наиболее значимые региона Российской Федерации:

1. Северный регион.
2. Черноземный.
3. Нечерноземный.

Каждый район, в свою очередь, делится на ряд систем, которые описывают возможности региона более детально. В последующие годы Челинцев пошел еще дальше и выделил три составленные части экономики сельского хозяйства. Данные части так же определяют возможность региона для создания кластерной системы. Ниже рассмотрим и проанализируем данные части более детально:

1. Природные факторы региона.
2. Факторы, которые именуются с течением времени.
3. Возможность выстраивания системы развития сельского хозяйства.

Данные принципы актуальны и в наше время несмотря на то, что они были выделены в середине 20 века.

Во времена СССР было выделено несколько форм хозяйствования в сфере сельского хозяйства, которые, можно сказать, стали предшественниками кластерных объединений: колхозы и совхозы.

Такие объединения было принято называть локальными аграрными системами. И при такой организационной структуре управления было проще анализировать экономические показатели, оценивать эффективность работы такой системы [8; 14; 16; 25].

Проблема создания интегрированной системы была актуальна еще с середины 1990 годов. В настоящее время данная проблема все так же актуальна, хотя ее влияние менее значимо.

Методология

Многие страны в настоящее время занимаются изучением кластерного феномена. Среди наиболее значимых аналитиков данной области можно выделить Америку, Германию, Китай, а также Австрия и Финляндия.

Тема создания кластеров стала набирать свою популярность в последнее время. Сейчас, в вопросах кластерной системы в сфере сельского хозяйства, можно опираться на работы таких авторов, как Аблеева Алиса Магасумовна, Фролова Ольга Александровна и так далее.

В роли основных методов исследования использовались нижеследующие методологические подходы: метод систематизации данных, метод графической визуализации данных, функционально-структурный метод, метод построения и расчета статистических данных.

Для более полного понимания данной темы, важно проанализировать, что представляет собой понятие «кластер».

Итак, кластер – это особый вид цепочек, которые соединены между собой вертикальным или горизонтальным способом. В роли объединяющего фактора, в большинстве случаев, выступает региональный признак. Цель создания кластера – создание эффекта синергии за счет объединения различных отраслей рынка.

Кластер позволяет создать не только синергетический эффект, но также повысить уровень конкурентоспособности предприятий региона, так как все они объединяются в единую цепь, которая способствует развитию инновационных технологий и повышению уровня эффективности работы, как всего кластера, так и каждого предприятия в отдельности. Вместе с тем такие кластеры позволяют выпускать производственным предприятиям товары высокого качества, что, в свою очередь, повышает уровень удовлетворенности продуктом со стороны потребителей.

В рамках данного исследования целесообразно ввести новый термин – «молочный кластер».

Молочный кластер – это совокупность предприятий региона (в структуре настоящего исследования анализируется Красноярский край), которые специализируются на производстве молочных продуктов и на исследованиях данной области [11].

Ниже, на рисунке 1, представлена схема, отражающая структуру управления молочным кластером.



Рис. 1. Структура построения и управления молочным кластером

Структура самого молочного кластера представлена на рисунке 2 настоящей исследовательской работы. Главными элементами такой структуры выступают производственные предприятия, которые занимаются основным видом деятельности. А структуры в роде управляющих подразделений относятся к вспомогательным, так же, как и структура по обучению и повышению квалификации сотрудников.

Теоретический задел

Важно отметить, что все расчеты, в рамках настоящего исследования проводились на основании реальных данных по районам Западной зоны Красноярского края. Данные были взяты за период с 2015 по 2021 год.

Выявление закономерностей эффективного распределения перерабатываемой продукции в рамках предприятий возможно посредством расчета показателей социально-экономического развития районов Западной зоны и сложившихся особенностей выпуска молочной продукции.

Так как кластеры организаций, которые производят и реализуют молочную продукцию, могут существенно отличаться друг от друга, имеет также смысл определить, для расчета ограничений, валовые значения показателей в рамках каждого кластера.

Помимо всего прочего в рамках реализации поставленных задач целесообразно определить основные валовые показатели социально-экономического развития каждого региона.

Решение задачи по оптимизации молочного комплекса на основе кластеризации позволило выделить несколько наиболее важных параметров, отражающих оптимальные объемы выпуска и переработки молочных продуктов для Красноярского края. Ниже рассмотрим и проанализируем данные параметры более детально:

1. Более 38 % переработки молочной продукции отрасли следует направить на реализацию ресурсного потенциала районов Западной зоны со средними значениями развития сектора молочного животноводства и сбываться в районах с высокими емкостными значениями по рынку.
2. Порядка 40 % продукции предприятий перерабатывающей сферы должны быть обеспечены молоком с территорий, с развитой сферой животноводства. Так как только в данном случае получится полностью удовлетворить спрос.
3. Около 12% продукции целесообразно перерабатывать в Западных районах Красноярского края.

4. Не более 4,5% от общего объема молочной продукции важно выпарить из молока, полученного с Западных районов Красноярского края, в которых наблюдается среднее значение развития молочного животноводства для сбыта на территории с низкими емкостными значениями.
5. Порядка 4% всей выпускаемой молочной продукции необходимо выпускать в виде переработки на основе сырья районов с низким уровнем развития молочного животноводства – для территорий со средними значениями емкости рынка.

В сельских обществах, которые в большинстве своем лишь частично монетизированы и в которых отсутствуют хорошо организованные каналы сбыта сельскохозяйственной продукции, множество потенциальной производительной энергии тратится впустую. Производители аграрной продукции, особенно небольшие хозяйства, сталкиваются с проблемами сбыта, что нередко приводит не только к ее потерям, но и к отказу от производства в будущем. Производители производят либо слишком много, либо слишком мало продукции, что негативно сказывается не только на уровне их дохода, но и на их репутации в целом.

В результате индивидуальные, средние и крупные сельскохозяйственные деятели несут значительные убытки. Данный факт актуален не столько из-за удаленности сельских территорий от центральных рынков сбыта, сколько в результате отсутствия эффективных стимулов, побуждающих экономических агентов к продуктивным действиям.

Законодательные и методические основы кластерного развития экономики, доказавшего высокую эффективность во всех экономически развитых странах мира, на территории Российской Федерации находятся на начальной стадии собственного формирования. И если в некоторых высокотехнологичных отраслях российской промышленности использование международного опыта кластеризации возможно и где-то уже активно применяются, то относительно отечественного АПК применение этого опыта пока ограничено, так как он имеет существенные специфические характеристики.

Если говорить об обоснованиях для создания кластерной системы, можно выделить четыре наиболее важных из них:

1. Повышение уровня конкурентоспособности предприятий, входящих в единую кластерную систему.
2. Создание инвестиционного поля для менее развитых предприятий системы.
3. Создание единой инфраструктурной базы, за счет которой более слабые предприятия смогут развить свой потенциал.
4. Создание системы льготных условий для предприятий кластера.

В заключении настоящей исследовательской работы целесообразно выделить ряд аспектов, которые говорят в пользу создания кластеров в сфере сельского хозяйства:

1. Благодаря созданию кластеров, цены на готовую продукцию удастся удерживать на определенном уровне, что положительно скажется на покупательской способности населения региона. Причем в данном случае речь идет о поставках продуктов питания не только в розничные сети магазинов, но и о поставках в детские сады, школы и учреждения высшего учебного заведения.
 2. Система перераспределения продуктов питания будет более эффективной, а значит риск возникновения дефицита продуктов минимизируется.
 3. Увеличится доля государственной поддержки предприятий, входящих в кластерную систему.
 4. Повысится число вакантных мест, за счет расширения штата. Такой аспект положительно скажется на общем уровне занятости населения региона.
 5. Отсутствие теневой торговли продуктами питания.
 6. Повышение уровня конкурентоспособности всех предприятий кластерной системы.
 7. Планомерное и устойчивое развитие предприятий.
 8. Создание некоей цепочки создания и реализации готовой продукции.
 9. Повысится доля отчислений в налоговые органы.
 10. Если рассматривать непосредственно Красноярский край, то в нем решится проблема утилизации отходов.
 11. Создание единой информационной базы между всеми предприятиями кластерной системы.
 12. Переход к цифровизации сельскохозяйственного комплекса на территории Красноярского края.
- Те предприятия, с которыми будет так или иначе сотрудничать кластер, так же получают ряд неоспоримых преимуществ:
1. Постоянного покупателя, которых будет закупать материалы или продукцию по средней стоимости по региону.
 2. Предприятия смогут адаптировать свое предложение под реальный спрос.
 3. Возможность выстраивания стратегии производства.
 4. Снижение издержек в области утилизации отходов, логистики и так далее.
 5. Переход к цифровой экономике.

Результаты

Проведя всесторонний анализ, в рамках данного исследования, было установлено, что процесс создания молочного кластера позволил добиться ряда положительных результатов. Ниже рассмотрим результаты, актуальные для Красноярского края России:

1. Чуть более 38% переработки молочной продукции целесообразно направлять в Западные регионы. Именно такая схема показывает себя с наиболее эффективной стороны.
2. Около 40% всей молочной продукции необходимо закупать у тех территорий, где развитие молочного хозяйства находится в приоритете. Такой подход наиболее обоснован с экономической точки зрения.
3. Переработанные молочные продукты должны составлять 12,3% от общей массы продуктов. Причем они должны поступать из Западного региона.
4. Порядка 4% всей молочной продукции должно быть изготовлено на основе молока, которое поступило из Западного региона. После чего такая продукция будет отправляться в регионы с низким уровнем емкости значения.
5. Порядка 8% всей выпускаемой молочной продукции необходимо выпускать в виде переработки на основе сырья районов с низким уровнем развития молочного животноводства – для территорий со средними значениями емкости рынка.

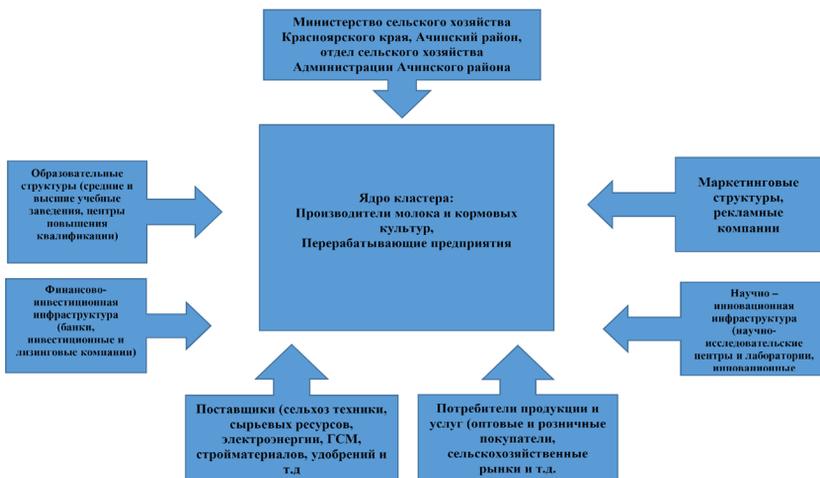


Рис. 2. Структура молочного кластера Красноярского края

В результате проведенного исследования был сделан обоснованный вывод о том, что при условии создания молочного кластера в структуре Красноярского края, можно увеличить объемы переработки молочной продукции в 1,8 раз. Причем такие показатели актуальны для Западного региона края.

Если же добиться того, что бы все производимое и закупаемое молоко проходило обработку в Западном крае, то мощность переработки можно будет повысить до рекордных 96 %.

В заключение целесообразно отметить, что в процессе создания молочного кластера, можно решить ряд нижеследующих задач, которые наиболее остро стоят перед Красноярским краем в настоящее время:

1. Обосновать необходимость развитие сфера молочного животноводства в данном регионе.
2. Сформировать наиболее эффективный и рентабельный состав молочного животноводства, который позволит предприятиям получать чистую прибыль на протяжении всего времени существования кластера, а также оставаться конкурентоспособными на внешнем и внутреннем рынке.
3. Разработать структуру отрасли, которая будет учитывать особенности того или иного района функционирования кластера.
4. Создать базу, которая позволит производить необходимые объемы молочной продукции, а также реализовывать их по всей территории нашей страны.

После формирования основных этапов кластеризации молочного комплекса Красноярского края возникает острая необходимость создания методологической базы для возможности расчета оптимальной структуры кластера с учетом необходимости удовлетворения емкости рынка, а также особенностей взаимосвязи производственных и перерабатывающих предприятий молочного животноводства.

Процесс разработки такой системы необходим, так как он позволит решить ряд наиболее важных задач, стоящих перед Красноярским краем:

1. Структурирование целей, достижение которых приведет к развитию системы молочного животноводства на территории анализируемого края.
2. Видение перспектив и возможностей, которые станут актуальны после создания кластерной системы.
3. Формирование эффективной цепочки создания конечного продукта.
4. Создание базы для последующего развития данного направления.

Решение проанализированных выше задач возможно только при осознании суммарных значений, определяющих как уровень эффективного

развития молочного животноводства в регионе, так и потенциальной емкости регионального рынка.

На основании всего сказанного выше, для просчета оптимального состава молочной продукции, целесообразно воспользоваться нижеследующей формулой:

$$\text{Крент.}(a) = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \text{rent}_{ij} * a_{ij \rightarrow \max}$$

Данная функция представляет собой целевую функцию (А).

$$\sum_{j=1}^3 a_{ij} \leq VMOL_{i, \text{общ}} \quad i = 1, 3$$

Данный показатель отражает ограничения различного характера (Б).

$$\sum_{j=1}^3 a_{ij} \geq PMOL_{j, \text{общ}} \quad i = 1, 3$$

Данный показатель так же отражает ограничения (В).

$$\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 a_{ij} \geq 0, \quad i = 1, 3, j = 1, 3$$

Данный показатель так же отражает ограничения (Г).

Ниже рассмотрим значения данной модели более детально:

1. Функция (А) отражает показатели рентабельности молочной продукции анализируемого края.
2. Ограничение (Б). Данное ограничение говорит о том, что объем выпуска продукции одним предприятием не может превышать общие объемы выпуска молочной продукции по региону.
3. Ограничение (В). Общий объем выпуска может превышать уровень спроса среди потребителей Красноярского края.
4. Ограничение (Г). Объем выпускаемой молочной продукции не может носить отрицательный характер.

Исходя из анализа данной модели, можно предположить, что модель (А) призвана определять оптимальный состав и объем выпускаемой молочной продукции со стороны предприятия. Она учитывает все ограничения, которые могут повлиять на объем выпускаемой продукции в регионе [11].

Заключение

Исходя из анализа всего сказанного выше, в рамках настоящей работы, целесообразно отметить, что процесс создания кластерной системы практически невозможен без поддержки со стороны государственных органов. В настоящее время аграрные предприятия Красноярского края не смогут самостоятельно перейти к новой системе функционирования, так как у них нет необходимых для этого ресурсов. Тем не менее переход к кластерной системе необходим, так как он повысит уровень конкурентоспособности многих предприятий региона, а также обеспечит продовольственную безопасность не только для своего региона, но и для всей Российской Федерации в целом.

Список литературы

1. Ахмедов А.Э. Формирование механизма управления интеграционным развитием предприятий пищевой промышленности в современных условиях хозяйствования (монография) / А.Э. Ахмедов, М.А. Шаталов. Воронеж: ВЭПИ, 2019. 136 с.
2. Бабкин А.В. Коллаборация промышленных и творческих кластеров в экономике: сущность, формы, особенности / А.В. Бабкин, Е.А. Байков // *п-Economy*. 2018. №4. С. 75-78.
3. Бахшян Э.А. Кластеры в современной экономике: сущность, характерные черты и генерируемые эффекты // *Теоретическая и прикладная экономика*. 2019. № 1. С. 64-74.
4. Баутин, В.М. Интеграция как фактор повышения эффективности агропромышленного производства / В.М. Баутин, С.В. Овсянников, М.А. Шаталов // *Вестник Самарского государственного экономического университета*. 2017. № 12. С. 11-14.
5. Демьяненко А.Н. Вопросы экономического районирования в работах экономистов-аграрников / А.Н. Демьяненко, Л.А. Дятлова. *Пространственная экономика*. 2008. № 4. С. 71-102.
6. Максимова Т.П. Формирование агропромышленных кластеров в экономике РФ: теоретические основы и потенциальные возможности // *Российское предпринимательство*. 2015. Т. 16. № 18. С. 2935-2946. <https://doi.org/10.18334/гр.16.18.1941>
7. Магомадов С.Р. Ключевые характеристики регионального экономического кластера: зарубежный и отечественный подходы / С.Р. Магомадов, С.Б. Элибиев // *Вестник экспертного совета*. 2018. №4. С. 31-35.
8. Мешков А.В., Евдокимова Н.А., Калимуллина О.В., Гурьева Т.В. Отраслевой анализ рынка CRM-систем: вызовы и перспективы // *Креативная экономика*. 2022. Т. 16. № 7. <https://doi.org/10.18334/се.16.7.114917>

9. Калимуллина О.Е., Ярцева К.А., Литун К.В. Роль экспертных и рекомендательных систем для интеллектуализации бизнеса: отраслевой анализ рынка // Вопросы инновационной экономики. 2022. Т. 12. № 3. <https://doi.org/10.18334/vines.12.3.114969>
10. Серова Е.В. Проблемы сельского развития и новые подходы к их решению в России / Е.В. Серова, А.С. Наумов, Р.Г. Янбых, Н.В. Орлова, С.Н. Абдолова // Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. № 6(384). С. 10-16. <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-6-10-16>
11. Цугленок О.М. Методологическая база для расчета оптимальной структуры кластера // Эпоха науки. 2017. №12. С. 148-151.
12. Dudukalov E.V., Terenina I.V., Perova M.V., Ushakov D. Industry 4.0 Readiness: The Impact of Digital Transformation on Supply Chain Performance // E3S Web of Conferences, 2021, vol. 244, 08020.
13. Glotko A.V., Sycheva I.N., Dunets A.N., Poltarykhin A.L., Zhuravlev P.V., Tubalets A.A. Development of integration processes in the agro-industrial complex of the Russian regions // European Research Studies Journal, 2018, vol. 21(Special Issue 3), 3-15. <https://doi.org/10.35808/ersj/1356>
14. Korableva O.N., Mityakova V.N., Kalimullina O.V. Designing a decision support system for predicting innovation activity // Paper presented at the ICEIS 2020 - Proceedings of the 22nd International Conference on Enterprise Information Systems, 2020, vol. 1, pp. 619-625.
15. Kolupaev A.A., Redkin A.G., Voinova N.E., Karabasheva M.R., Rzayev A.Y., Makhanova T.A. Main attributes of tourism transportation infrastructure formation // International Journal of Mechanical Engineering and Technology, 2018, vol. 9(12), pp. 1185-1197.
16. Martirosyan A.V., Ilyushin Y.V., Afanaseva O.V. Development of a distributed mathematical model and control system for reducing pollution risk in mineral water aquifer systems // Water (Switzerland), 2022, vol. 14(2). <https://doi.org/10.3390/w14020151>
17. Movchan I.B., Shaygallyamova Z.I., Yakovleva A.A., Movchan A.B. Increasing resolution of seismic hazard mapping on the example of the north of middle Russian highland // Applied Sciences (Switzerland), 2021, vol. 11(11). <https://doi.org/10.3390/app11115298>
18. Palyanitsina A., Tananykhin D., Masoud R. Strategy of water-flooding enhancement for low-permeable polymictic reservoirs // Journal of Applied Engineering Science, 2021, vol. 19(2), pp. 307-317. <https://doi.org/10.5937/jaes0-29693>
19. Pogosyan V.G. Problem of innovations diffusion: A historical retrospective // Voprosy Istorii, 2021, vol. 2021(5-2), pp. 24-32. <https://doi.org/10.31166/VoprosyIstorii202105Statyi30>

20. Smirnova N.V., Rudenko G.V. Tendencies, problems and prospects of innovative technologies implementation by Russian oil companies // *Journal of Industrial Pollution Control*, 2017, vol. 33(1), pp. 937-943.
21. Strugar V. The complexity of the modern DNO business - the importance of maintaining IMS and ICT support // *Journal of Quality and System Engineering*, 2022, vol. 1, no. 1, pp. 1-10.
22. Tasri A. Inverse distance interpolation for used in unstructured mesh finite volume solver // *Journal of Applied Engineering Science*, 2022, vol. 20(2), pp. 597-601. <https://doi.org/10.5937/jaes0-34022>
23. Tran D., Pham V., Le D., Bui T. A study on influence of environmental working conditions on wear of a ball screw based on TCVN7699-2-30 // *Journal of Applied Engineering Science*, 2022, vol. 20(2), pp. 372-376. <https://doi.org/10.5937/jaes0-32506>
24. Voronkova O.Y., Klochko E.N., Vakhrushev I.B., Sergin A.A., Karpenko E.Z., Tavbulatova Z.K. Land resource management in the agro-industrial sector of Russia // *International Journal of Pharmaceutical Research*, 2020, vol. 12, pp. 2087-2093. <https://doi.org/10.31838/ijpr/2020.SP1.306>
25. Žunjić M., Demić M., Rakićević B., Đorđević B. Contribution to the investigation of the influence of tire non-uniformity on the lateral tire characteristics // *Journal of Applied Engineering Science*, 2022, vol. 20(2), pp. 562-570. <https://doi.org/10.5937/jaes0-32961>

References

1. Akhmedov A.E., Shatalov M.A. *Formirovanie mekhanizma upravleniya integratsionnym razvitiem predpriyatij pishchevoy promyshlennosti v sovremennykh usloviyakh khozyaystvovaniya (monografiya)* [Formation of the mechanism for managing the integration development of food industry enterprises in modern economic conditions (monograph)]. Voronezh: VEPI, 2019, 136 p.
2. Babkin A.V., Baykov E.A. *π-Economy*, 2018, no. 4, pp. 75-78.
3. Bakhshyan E.A. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekonomika*, 2019, no. 1, pp. 64-74.
4. Bautin V.M., Ovsyannikov S.V., Shatalov M.A. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*, 2017, no. 12, pp. 11-14.
5. Dem'yanenko A.N., Dyatlova L.A. *Prostranstvennaya ekonomika*, 2008, no. 4, pp. 71-102.
6. Maksimova T.P. *Rossiyskoe predprinimatel'stvo*, 2015, vol. 16, no. 18, pp. 2935-2946. <https://doi.org/10.18334/rp.16.18.1941>
7. Magomadov S.R., Elibiev S.B. *Vestnik ekspertnogo soveta*, 2018, no. 4, pp. 31-35.
8. Meshkov A.V., Evdokimova N.A., Kalimullina O.V., Gur'eva T.V. *Kreativnaya ekonomika*, 2022, vol. 16, no. 7. <https://doi.org/10.18334/ce.16.7.114917>

9. Kalimullina O.E., Yartseva K.A., Litun K.V. *Voprosy innovatsionnoy ekonomiki*, 2022, vol. 12, no. 3. <https://doi.org/10.18334/vinec.12.3.114969>
10. Serova E.V., Naumov A.S., Yanbykh R.G., Orlova N.V., Abdolova S.N. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal*, 2021, no. 6(384), pp. 10-16. <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-6-10-16>
11. Tsuglenok O.M. *Epokha nauki*, 2017, no. 12, pp. 148-151.
12. Dudukalov E.V., Terenina I.V., Perova M.V., Ushakov D. Industry 4.0 Readiness: The Impact of Digital Transformation on Supply Chain Performance. *E3S Web of Conferences*, 2021, vol. 244, 08020.
13. Glotko A.V., Sycheva I.N., Dunets A.N., Poltarykhin A.L., Zhuravlev P.V., Tubalets A.A. Development of integration processes in the agro-industrial complex of the Russian regions. *European Research Studies Journal*, 2018, vol. 21(Special Issue 3), 3-15. <https://doi.org/10.35808/ersj/1356>
14. Korableva O.N., Mityakova V.N., Kalimullina O.V. Designing a decision support system for predicting innovation activity. *Paper presented at the ICEIS 2020 - Proceedings of the 22nd International Conference on Enterprise Information Systems*, 2020, vol. 1, pp. 619-625.
15. Kolupaev A.A., Redkin A.G., Voinova N.E., Karabasheva M.R., Rzayev A.Y., Makhanova T.A. Main attributes of tourism transportation infrastructure formation. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 2018, vol. 9(12), pp. 1185-1197.
16. Martirosyan A.V., Ilyushin Y.V., Afanaseva O.V. Development of a distributed mathematical model and control system for reducing pollution risk in mineral water aquifer systems. *Water (Switzerland)*, 2022, vol. 14(2). <https://doi.org/10.3390/w14020151>
17. Movchan I.B., Shaygallyamova Z.I., Yakovleva A.A., Movchan A.B. Increasing resolution of seismic hazard mapping on the example of the north of middle Russian highland. *Applied Sciences (Switzerland)*, 2021, vol. 11(11). <https://doi.org/10.3390/app11115298>
18. Palyanitsina A., Tananykhin D., Masoud R. Strategy of water-flooding enhancement for low-permeable polymictic reservoirs. *Journal of Applied Engineering Science*, 2021, vol. 19(2), pp. 307-317. <https://doi.org/10.5937/jaes0-29693>
19. Pogosyan V.G. Problem of innovations diffusion: A historical retrospective. *Voprosy Istorii*, 2021, vol. 2021(5-2), pp. 24-32. <https://doi.org/10.31166/VoprosyIstorii202105Statyi30>
20. Smirnova N.V., Rudenko G.V. Tendencies, problems and prospects of innovative technologies implementation by Russian oil companies. *Journal of Industrial Pollution Control*, 2017, vol. 33(1), pp. 937-943.

21. Strugar V. The complexity of the modern DNO business - the importance of maintaining IMS and ICT support. *Journal of Quality and System Engineering*, 2022, vol. 1, no. 1, pp. 1-10.
22. Tasri A. Inverse distance interpolation for used in unstructured mesh finite volume solver. *Journal of Applied Engineering Science*, 2022, vol. 20(2), pp. 597-601. <https://doi.org/10.5937/jaes0-34022>
23. Tran D., Pham V., Le D., Bui T. A study on influence of environmental working conditions on wear of a ball screw based on TCVN7699-2-30. *Journal of Applied Engineering Science*, 2022, vol. 20(2), pp. 372-376. <https://doi.org/10.5937/jaes0-32506>
24. Voronkova O.Y., Klochko E.N., Vakhrushev I.B., Sergin A.A., Karpenko E.Z., Tavbulatova Z.K. Land resource management in the agro-industrial sector of Russia. *International Journal of Pharmaceutical Research*, 2020, vol. 12, pp. 2087-2093. <https://doi.org/10.31838/ijpr/2020.SP1.306>
25. Žunjić M., Demić M., Rakićević B., Đorđević B. Contribution to the investigation of the influence of tire non-uniformity on the lateral tire characteristics. *Journal of Applied Engineering Science*, 2022, vol. 20(2), pp. 562-570. <https://doi.org/10.5937/jaes0-32961>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Цугленок Ольга Михайловна, старший преподаватель, кафедра правовых и социально-экономических дисциплин
ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет, Ачинский филиал
ул. Тарутинская 4, г. Ачинск, 662159, Российская Федерация
sigolya@list.ru

Абушенкова Марина Владимировна, доцент кафедры истории и социально-культурного сервиса ЮЗГУ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет»
ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, Курская область, 305040, Российская Федерация
abushenkova.mv@yandex.ru

Ахмадеев Равиль Габдуллаевич, к.э.н., доцент, доцент кафедры государственных и муниципальных финансов
Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова

*Стремянный переулок, 36, г. Москва, 115054, Российская Федерация
ahm_rav@mail.ru*

Тюпаков Константин Эдуардович, доктор экономических наук, профессор кафедры экономики и внешнеэкономической деятельности, *Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина*
ул. Калинина, 82, г. Краснодар, 350044, Российская Федерация
shichiyakh.r.a@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Olga M. Tsuglenok, Senior Lecturer, Department of Legal and Socio-Economic Disciplines,
Krasnoyarsk State Agrarian University, Achinsk branch
4, Tarutinskaya Str., Achinsk, 662159, Russian Federation
cugolya@list.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3544-1431>

Marina V. Abushenkova, Associate Professor of the Department of History and Socio-cultural Service of South Ural State University
Southwest State University
94, 50 let Oktyabrya Str., Kursk, Kursk region, 305040, Russian Federation
abushenkova.mv@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8632-1715>

Ravil G. Akhmadeev, Candidate of Economics (PhD), Associate Professor, Department of State and Municipal Finance
Plekhanov Russian University of Economics, Russian Federation
36, Stremyanny lane, Moscow, 117997, Russian Federation
Ahm_rav@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7526-014>

Konstantin E. Tyupakov, Doctor of Economics, Professor of Department of Economics and Foreign Economic Activity
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin
13, Kalinin Str., Krasnodar, 350044, Russian Federation
shichiyakh.r.a@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9335-2686>

Поступила 27.09.2022

После рецензирования 10.10.2022

Принята 26.10.2022

Received 27.09.2022

Revised 10.10.2022

Accepted 26.10.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-435-453

UDC 614.586



Original article | Reproductive Rights

LEGAL SITUATION REGARDING ASSESSED REPRODUCTION TECHNOLOGIES IN MUSLIM COUNTRIES

V.A. Shestak, A.D. Tsyplakova, I.V. Kholikov

Background. *The assessed reproduction technologies (ART) often involve a range of controversial ethical and legal issues that are inspiring for research.*

Purpose. *Comprehensive study on ways to use certain types of technologies.*

Materials. *This paper provides with research of a legal framework of the ART based on the legislation of 13 Muslim countries: Oman, Saudi Arabia, Bahrain, Morocco, Jordan, the UAE, Malaysia, Iran, Lebanon, Egypt, Algeria, Tunisia and Turkey.*

Results. *Due to a range of religious, ethical, legal and social reasons access to the ART was prohibited, but in recent decades mujtahids and fakihis have come to conclusion that for the sake of national prosperity and sustainable development of the ummah medically assisted reproduction may be permissible under certain conditions and must be regulated by laws and correspond to fatwas. The limits of usage of certain technologies have common tendency in gulf countries and the Northern Africa. Nevertheless, some other Muslim countries (e.g., Iran and Malaysia) address this issue in a more detailed and open-minded way.*

Conclusion. *Although there're legal mechanisms and tools for a broader interpretation and a wider interpretation despite critical opinion of theologues and restricted nature of so-called «gates of al-ijtihad», because they are based on established years ago institutes an, in fact, don't contradict the foundations of Qur'an and Sunnah. However, features of Muslim law remain.*

Keywords: *assisted reproduction techniques; medically assisted reproduction; biomedical research ethics; Muslim countries; laws and regulations; kinship*

For citation. *Shestak V.A., Tsyplakova A.D., Kholikov I.V. The legal situation regarding assessed reproduction technologies in Muslim countries. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 435-453. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-435-453*

Научная статья | Репродуктивные права

ПРАВОВОЙ СТАТУС ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ РЕПРОДУКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МУСУЛЬМАНСКИХ СТРАНАХ

В.А. Шестак, А.Д. Цыплакова, И.В. Холиков

Обоснование. Применение вспомогательных репродуктивных технологий (ВРТ) зачастую сопряжено со спорными этическими и правовыми вопросами, которые представляют интерес для исследователей.

Цель. Формирование комплексного представления о пределах применения определённых видов технологий.

Материалы. В данной работе проведено исследование правового регулирования ВРТ на основании законодательства 13 мусульманских стран: Омана, Саудовской Аравии, Бахрейна, Марокко, Иордании, ОАЭ, Малайзии, Ирана, Ливана, Египта, Алжира, Туниса и Турции.

Результаты. Ввиду ряда религиозных, этических, юридических и социальных причин доступ к вспомогательным репродуктивным технологиям долгое время был невозможен, однако в последние десятилетия муджтахиды и факихи пришли к выводу, что для благосостояния уммы репродукция с медицинской помощью может быть допустимой в отдельных случаях и должна быть урегулирована на законодательном уровне, так и соответствующими фатвами. Авторами исследования отмечается общая тенденция регулирования в государствах Персидского залива и Северной Африки, тем не менее некоторые другие мусульманские страны, такие как, например, Иран и Малайзия, более детально и лояльно подходят к данной проблематике.

Заключение. Несмотря на то, что в доктрине устоялось категорическое мнение теологов в отношении закрытости так называемых врат «аль-иджтихад», на практике существуют правовые механизмы и инструменты для расширительного толкования нормативно-правовых актов и впоследствии их более широкого применения, поскольку они опираются на давно устоявшиеся институты и, по сути, не противоречат основам Корана и Сунны Пророка Мухаммада. Однако специфика мусульманского права сохраняется.

Ключевые слова: вспомогательные репродуктивные технологии; репродукция с медицинской помощью; этика биомедицинских исследований; мусульманские страны; нормы шариата; законодательство; ислам; родство

Для цитирования. Шестак В.А., Цыплакова А.Д., Холиков И.В. Правовой статус вспомогательных репродуктивных технологий в мусульманских странах // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №1. С. 435-453. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-435-453

Introduction

First of all, it is worth mentioning that in Muslim countries one of the crucial factors in determining social status is the presence and number of children in a family, as it is a social and cultural obligation upon marriage. Infertility and sterility do not meet the expectations of society that put excessive pressure on the spouses and do not allow them to occupy a high social position. Every year indicators are falling: over the past half of the century, the fertility rate has significantly decreased among both: women and men. If in the 1970s there were five children in an average Muslim family, then by the 2010s the situation has worsened – on average two children in a family [5]. In Iran many young spouses have one child or no children at all [2, 3]. In accordance with the UN data presented in the table «Population Division of Department of Economic and Social Affairs of the United Nations. World Population Prospects: the 2019 Revision» [20], one may conclude that the reduction in live births in Muslim states reaches up to 80%.

| Country | Live births per women | | | | | | | | | | | | | | Difference, % |
|--------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|
| | 1950-1955 | 1955-1960 | 1960-1965 | 1965-1970 | 1970-1975 | 1975-1980 | 1980-1985 | 1985-1990 | 1990-1995 | 1995-2000 | 2000-2005 | 2005-2010 | 2010-2015 | 2015-2020 | |
| Algeria | 7.28 | 7.38 | 7.65 | 7.65 | 7.57 | 7.18 | 6.32 | 5.30 | 4.12 | 2.89 | 2.38 | 2.72 | 2.96 | 3.05 | 58 |
| Bahrain | 6.97 | 6.97 | 7.17 | 6.97 | 5.95 | 5.23 | 4.63 | 4.08 | 3.40 | 2.95 | 2.65 | 2.25 | 2.12 | 2.00 | 71 |
| Egypt | 6.75 | 6.75 | 6.65 | 6.45 | 6.00 | 5.70 | 5.49 | 5.00 | 4.15 | 3.60 | 3.15 | 3.02 | 3.45 | 3.33 | 51 |
| Jordan | 7.38 | 7.38 | 8.00 | 8.00 | 7.79 | 7.38 | 7.05 | 6.02 | 5.06 | 4.30 | 4.00 | 3.80 | 3.40 | 2.77 | 62 |
| Iran | 6.91 | 6.91 | 6.91 | 6.68 | 6.24 | 6.28 | 6.53 | 5.62 | 3.70 | 2.40 | 1.92 | 1.2 | 1.91 | 2.15 | 69 |
| Qatar | 6.97 | 6.97 | 6.97 | 6.97 | 6.75 | 6.10 | 5.45 | 4.40 | 3.74 | 3.46 | 2.95 | 2.23 | 2.00 | 1.88 | 73 |
| Lebanon | 5.74 | 5.72 | 5.69 | 5.23 | 4.67 | 4.23 | 3.75 | 3.50 | 3.20 | 2.65 | 2.20 | 1.90 | 2.08 | 2.09 | 64 |
| Libya | 7.14 | 7.20 | 7.30 | 7.99 | 8.10 | 7.67 | 6.68 | 5.71 | 4.22 | 3.20 | 2.64 | 2.50 | 2.45 | 2.25 | 68 |
| Morocco | 6.61 | 6.90 | 7.10 | 6.85 | 6.40 | 5.90 | 5.40 | 4.43 | 3.70 | 2.97 | 2.67 | 2.53 | 2.60 | 2.42 | 63 |
| Malaysia | 6.35 | 6.38 | 6.37 | 5.38 | 4.72 | 4.20 | 3.97 | 3.67 | 3.44 | 3.13 | 2.45 | 2.22 | 2.11 | 2.01 | 68 |
| UAE | 6.97 | 6.97 | 6.87 | 6.77 | 6.45 | 5.75 | 5.30 | 4.90 | 3.93 | 2.97 | 2.40 | 1.97 | 1.70 | 1.42 | 80 |
| Oman | 7.25 | 7.25 | 7.25 | 7.31 | 7.41 | 8.10 | 8.32 | 7.85 | 6.27 | 4.46 | 3.20 | 2.90 | 2.90 | 2.93 | 60 |
| Saudi Arabia | 7.18 | 7.18 | 7.26 | 7.26 | 7.30 | 7.28 | 7.02 | 6.22 | 5.55 | 4.40 | 3.65 | 3.23 | 2.73 | 2.34 | 67 |
| Tunisia | 6.65 | 6.85 | 6.99 | 6.92 | 6.39 | 5.65 | 4.82 | 4.00 | 2.98 | 2.34 | 2.04 | 2.02 | 2.25 | 2.20 | 67 |
| Turkey | 6.69 | 6.50 | 6.20 | 5.80 | 5.39 | 4.69 | 4.11 | 3.39 | 2.90 | 2.65 | 2.37 | 2.20 | 2.12 | 2.08 | 69 |
| Average | 6.86 | 6.89 | 6.96 | 6.82 | 6.48 | 6.09 | 5.66 | 4.94 | 4.02 | 3.22 | 2.71 | 2.49 | 2.45 | 2.33 | 66 |

Despite the comparative economic and political stability of a number of Muslim countries, the threat of a demographic crisis is more urgent than ever in this region. In Western countries there are several ways to solve this problem, for instance, adoption of children. However, this issue needs elaborating and clarifying, because

unlike the Europeans' attitude to adoption the Muslims' one is different. A married couple can take care of a child, *i.e* take custody (“*al-khafala*” in Arabic), for some period of time, but on a regular and legal basis taking care of an underaged person and treating him or her as their own child alike in the West is impossible in most Arab countries. It is considered as *haraam* (religious prohibition in Arabic) that is traditionally associated with the desire to protect *nasab* (can be translated from Arabic as “origin”, “kinship”, *i.e* may be understood as “genealogy”). The importance of knowledge of *nasab* personality is described in numerous passages of both: the Qur'an and the Sunnah (*hadiths*). This moral imperative is vital for understanding the worldview of Muslims, as it is a determining factor in family matters. On these grounds assisted reproductive technologies (ART) may be the exact key to solving the demographic problem, but a number of ethical, moral, and legal issues arise that require more detailed studies [22; 16]. The issue may be influenced by HIV prevalence rate in the particular community [19] or by the situation of pandemic of mass diseases such as Ebola [31] or COVID-19 [2].

However, before talking about approaches, it is necessary to understand what ART include. The following treatment methods for infertility and sterility are known to science: in vitro fertilization (IVF), culturing cells or embryos and transferring them in vitro, artificial insemination, injection of sperm into the oocyte cytoplasm (ICSI), preimplantation genetic diagnosis (PGD) / preimplantation genetic screening (PGS), donation of germ cells and embryos, cryogenic preservation of germ cells, tissues and embryos and surrogacy: traditional (partial) and gestational (full). This classification is necessary to assess the completeness of the legal regulation of this area in the states of the Muslim legal system, since not all methods are legalized.

Despite the fact that a number of foreign scientists (including representatives of the described states) have already covered this issue, it seems vital to emphasize the peculiarities of the *ummah*, which can provide solutions without imposing Western points of view on Muslim attitude to ART. In addition, it is important to take into account the experience of other movements of Islam, as well as secular states, which, due to the dominance of the Muslim religion, follow a special path of development, since it is difficult to remain impartial under such strong influence of certain authorities.

Materials and methods

On grounds of the analysis and systematization of the regulatory framework, which can include not only laws, but fatwas as acts creating a new rule, as well as recommendations of consultative bodies, a study was conducted in

accordance with the current state of affairs regarding the regulation of ART in Muslim countries and summarized in the table of permissions and prohibitions in secular and 12 Muslim states. The historical path of the development of the *ummah*, the ideological differences in Islam and the linguistic features of the official languages (Arabic and Persian) were also taken into account through the study of the opinions of authoritative mujtahids and the works of foreign scholars. Due to this, the roots of the problems and long-established institutions that need to be reassessed for sake of the development of ART and, subsequently, may cause the revision of a number of laws were examined in detail.

Results of the research

Science and *fiqh*

It was the first time when an authoritative scientist, professor of Al-Azhar University Gamal Abu Al-Serour, who formulated the principles of bioethics in relation to medical research of the embryo and the use of ART for the benefit of the Islamic world in his works, spoke out on medical issues of ART:

- The described technologies should be applied only in the interests of mankind;
- They should not harm a person, fetus, humanity or society;
- Using ART requires necessary respect to the autonomy of competent persons and should protect those who are not capable of autonomy;
- Both distributive (fair distribution of benefits) and corrective (restoration of rights) justice should be exercised;
- Academic integrity must be ensured [24].

However, the studies of embryos cannot be used except in favor of procreation. The cloning issues are prohibited worldwide and, in particular, the Egyptian doctor did not differ in his position on this matter. Regarding the methods of medically assisted reproduction, he was the first Muslim scholar to note significant progress in the field of ART and to emphasize the importance of creating the necessary standards in accordance with Sharia laws. The Arab Republic of Egypt (hereinafter — Egypt) was the first country to have allowed the use of certain types of ART as far back as 1980. His Excellency Sheikh Gad Al-Haq Ali Gad Al-Haq, the great Mufti of Egypt (1978–1982), despite being a supporter of Wahhabism (ultra-conservative trend), issued a fatwa that allowed the use of IVF, but third-party intervention was impossible, so that it led to the prohibition of surrogacy and donation of germ cells and embryos. Subsequently, in most Arab countries this prohibition became widespread in terms of the principle of preserving *nasab*. The relevant fatwas were issued by Al-Iftah'

Dar in Cairo in 1980 (Center for Islamic Legal Studies of Egypt), the Islamic Organization of Medical Sciences in Kuwait in 1983, the Islamic Fiqh Council in Mecca in 1985, the Qatar University in 1993, and the International Islamic Center for Population Studies and Research at Al-Azhar University and the Islamic scientific, educational and cultural organization in Raabat (hereinafter – ISESCO) in 2002 [17].

It is curious that the Islamic Fiqh Council originally in 1984 permitted surrogacy if embryos were transferred to the uterus of the second wife. However, in 1985 the Council abolished its decision [25]. In the 1990s–2000s, ISESCO also published two important documents «Assisted reproductive technology-practice in ethical implications of advanced research in genetics» [14] and «Ethical Implications of Human Embryo Research» [13] that influenced authoritative scientists' mind and made them seriously think about gaps in the laws of Muslim countries.

In 2005 «Universal Declaration on Bioethics and Human Rights» [28] was adopted by UNESCO, which inspired legislators to develop laws in detail or make serious amendments in legislation of Muslim states. Despite the democratic spirit of the document, the Arab countries ended up working out this issue very stickily to shariah principles. UNESCO stressed that for medical purposes the choice of child gender is acceptable. An authoritative Canadian lawyer, Bernard Morris Dickens narrowed the ban in his work, empathizing that families with two or more children of the same sex should be given a choice [4]. Given that in Muslim countries a family should have at least one male child as an heir of the house and a successor of his ancestors in accordance with traditions, Bernard Morris Dickens's opinion has a point and seems logical. Nevertheless, most of the above-mentioned states either do not regulate this aspect of ART, or consider it to be *haraam*, since it contradicts shariah and Islam in general. There is no consensus on this issue in Jordan since in 2010 the Fatwa Department of Jordan officially stated that there was no need to allow the choice of the gender of the child. In any case it is a blessing from Allah Almighty. Nevertheless, Ibrahim Zayed Al Kilani, a former minister of philanthropy and Islamic affairs, a member of the Islamic Action Front, objected, saying that Almighty Allah sends the one he wants and he decides whether the operation will be successful or not. In addition, the separation of male chromosomes from female occurs even before fertilization of the egg, so nothing is technically forbidden [32].

Some people consider these technologies to be a designer of babies that allows genetic mapping, life from a test tube, choice the sex of the baby and termination of pregnancy, that raise a number of ethical issues, but in some

cases, they can save and make it easier the life of both mother and baby. So, for example, in Guideline No. 003/2006 of the Malaysian Medical Council one can find permission to choose the sex of the child if it reduces the likelihood of predisposition to serious pathological diseases. In addition, new federal IVF law No. 5 of the UAE 2019 also allows gender selection for the sake of family balancing.

Legislation

The chapter of Law No. 18-11 of 2018 of the Algerian People's Democratic Republic (hereinafter — Law No. 18-11) and the Resolution of the Ministry of Health and Population No. 238/2003 of 2003 of the Republic of Egypt (hereinafter — Resolution No. 238/2003) show the general trend. In accordance with Article 371 of Law No. 18-11, spouses who are legally married and cannot naturally have children have access to ART. Elaborating this definition, we can look up the definition from Law No. 47.14 of the Kingdom of Morocco 2018 (hereinafter — Law No. 47.14) and Law 26/2017 «On the use of medical methods that help with intrauterine insemination and in vitro fertilization» 2017 of the Kingdom of Bahrain (hereinafter — Law 26/2017) and add that the period during which a woman cannot become pregnant without contraceptives — 12 months (1 year). New federal IVF law No. 5 of the UAE 2019 reduces the infertility period — 6 months if a woman is older than 35 years. Moreover, we are taking into account only newlyweds and the first marriage in general in the law No. 26/2017, since the marriage should not be interrupted by death or divorce. Law No. 47.14 has another restriction for spouses — sterile individuals do not have access to ART (this also applies to Saudi Arabia).

However, in some cases, individuals who are unmarried, but have diseases that may affect their reproductive function in the future under Law No. 2001-93 of the Republic of Tunisia of 2001 (hereinafter — Law No. 2001-93) have the right freeze your gametes [30]. The new IVF federal law No. 5 of the UAE 2019 has also created strides for fertility preservation in the UAE by allowing unmarried individuals to freeze their eggs or sperm for a period of 5 years (extendable upon request). Collection of embryos for study and research, as well as gender selection and human cloning are strictly prohibited (Articles 374–375 of Law No. 18-11). Vice versa under the Decree «On stem cells» of the Hashemite Kingdom of Jordan in 2014 and the Law on Medical Ethics of 1994 of the Lebanese Republic 5 types of stem cells are allowed to be studied, among which one can find embryo cells, but it should be considered as a rather exceptional case among Arab states. Though, for instance, the new federal IVF

law No. 5 of the UAE 2019 has also permitted research on (un)fertilised eggs and sperm cells subject to receiving consent from the concerned parties and their spouses and the relevant regulatory health authority. The loosening of restrictions on research serves to stimulate medical research and innovation [3]. Germ cell donation, surrogacy and banks are prohibited (article 45 of regulation No. 238/2003). At the same time the Act of Units of Fertilization, Utero-Fetal, and Infertility Treatment of the Kingdom of Saudi Arabia contains criminal liability for violation of the above-mentioned rules: fines from 200,000 Saudi riyals to 500,000 Saudi riyals or 5 years in prison. Meanwhile the new federal IVF law No. 5 of the UAE 2019 introduces disciplinary sanctions, including written reprimands, written notices, fines not exceeding AED 1,000,000 for the fertility centre and AED 500,000 for their staff (min. of AED 1,000), temporary suspension of the fertility centre's licence (which cannot exceed 6 months) or their staff license ((which cannot exceed 1 year) and cancellation of their licence. Cross-border reproductive assistance and germ cells trade are prohibited by most Arab states. However, nowadays the UAE, the KSA and Egypt's share in global IVF services market has become 7.4% (1.1 billion US dollars) [3]. Storage of embryos and germ cells is not settled everywhere, however, for example, in Bahrain the term doesn't exceed 10 years in the case of gametes and up to 5 years in relation to embryos, however, under Moroccan legislation cryogenic preservation of germ cells is no more than 5 years without the right of renewals, unused embryos are forbidden to keep for any period. The Minister of Health of the Sultanate of Oman [17] and the president of the Supreme Council of the Union of United Arab Emirates [27] have established rules that allow the storage of sperm, eggs, and embryos and zygotes with annual renewal of biological material for 5 years. Under Law No. 2001-93 and new IVF federal law No. 5 of the UAE 2019, storage of embryos and gametes can be no more than 5 years with the possibility of extending the term once. It seems that the upper limit of the period of conservation of germ cells (and in some cases zygotes) is 10 years. At the request of the spouses, upon divorce or in case of the death of one of the spouses, the conservation of the biomaterial is terminated. Such legal regulation is typical for most of Sunni countries.

As for the other types of ART, one can refer to the laws of the Sultanate of Oman, where 40-year-old and older women are allowed to undergo preimplantation genetic diagnostics if there is a risk of serious genetic abnormalities. This is the only country from the above-mentioned list where access to PGD is legalized. Nevertheless, as practice shows, formally there is no ban on PGD and ASG, therefore they are actively used [27].

Challenges that face legislators and doctors

The more serious challenge is the risk of several pregnancies and the unsuccessful first attempt of IVF. The fact is that to increase the success of the procedure, doctors place several fertilized eggs in the uterus of the patient, however, this potentially jeopardizes both: the health of the mother and the unborn child. The legislation of few countries regulates this issue. For example, under the Law of 26/2017 of the Kingdom of Bahrain, only one embryo can be placed in the uterus of under-35-year-old women. In case of the threat to the mother's life, after three consultations with qualified specialists, it is possible to place up to three embryos for over-35-year-old women. The Sultanate of Oman sticks to more free approach, so that the maximum possible number of embryos is initially two and three for 40-year-old women (and older). The amendments to the federal law No. 11 of the UAE 2008 (as amended in 2009) and the new federal IVF law No. 5 of the UAE 2019 are liberal. Women under 35 years old are entitled to up to three zygotes for IVF, and in other cases up to four. It is curious that the Turkish Republic (hereinafter — Turkey) IVF allows taking into account the number of attempts to use this type of ART. At the first and second attempts only one embryo can be placed in the uterus of a woman, but if she is older than 35 years, then in any case law restricts up to two zygotes with the obligatory consultation of a doctor.

The roots of restrictions

As one can see, Muslim countries have extremely cautious approach to reproductive help, but since it is a way out of the growing demographic crisis, then why are most types of ART prohibited?

The entire Sunni community is organized patrilineally, so third-party reproductive assistance is seen as the destruction of special genealogical ties. The child, whom the surrogate mother gave birth to, loses their *nasab* without the milk of the genetic mother, and ignorance of it can lead to involuntary incest. Moreover, third-party reproductive help is considered as *zina* (“adultery” from Arabic), because third-party germ cells are introduced into the mother's body, violating the sacredness and sacrament of marriage. An illegitimate bastard born as a result of using this type of ART is called *walad az-zina* (“a child born from adultery” from Arabic) [11]. There is no a single procedure that would allow him to be recognized as a legal child. Most Sunni couples follow the instructions, although they have the opportunity to receive such a service abroad [12].

Despite the secular nature of the state, the situation is similar in Turkey, since approximately 80% of Muslims, who make up the vast majority of the

population of this country, practice Sunni Islam. The law adheres to a strict marital framework in accordance with the policy of patriarchal pronatalism, from which we can conclude that individuals who are not married or in the same-sex relationships, as well as those who wish to resort to the help of donor biomaterial, do not have access to ART [18, 19]. What is more, in 2010 the cross-border reproductive assistance (the search for donors abroad) was banned under the Turkish legislation [7].

However, the opposite attitude to ART can be seen in states where shia Islam dominates. The *fiqh* of the shi'ites, unlike the *fiqh* of the Sunni counties, has not stopped in its development and is adapting to the dynamics of social relations. The modified form of the principle '*aql* ("reason" from Arabic) — *istislah* ("aspiration for welfare" from Arabic) — is widely used to make independent judgments called *ijtihad* ("zeal, great effort" from Arabic), and is the key to understanding why shi'ites have access to more kinds of ART. Due to fundamental changes in circumstances, namely the emergence of brand new technologies in the field of reproductive assistance, the mujtahids are guided by the principle of *istishab* ("continuity of links" from Arabic), which allows to abolish or create laws.

A possible key to adjust the system

The Islamic Republic of Iran provides third-party reproductive assistance, dividing the concepts of *nasab* and consent between the donor and the recipient parents. Moreover, in order to legitimize a child born from a surrogate mother, the so-called *nikah mut'ah* or *sigheh* ("temporary marriage") is concluded [9], so he or she is not walad az-zina, but *laqit* (literally "abandoned" in Arabic, but in accordance with *nasab* one may say "innocent") is considered [23]. If a person finds and takes care of a such child, *laqit* is called *multaqit* ("taker up" from Arabic). *Mut'ah* (Arabic word) is concluded by an unmarried Muslim woman and a married or single Muslim man for a fixed period for a fixed fee. In the past this type of marriage was common for widows and divorced women who needed financial help. Now *sigheh* (the Persian word) has gained popularity in Iran precisely for the opportunity to gain access to a number of types of ART, which are *haraam* among the Sunni. The marriage is concluded for one or two days without witnesses and official registration. In order to preserve anonymity and protect rights a written agreement is possible.

In 2003, the Majlis Showrāe Esslāmī (Iranian parliament in Persian) enacted a gamete donation law that banned only sperm donation, since polyandry is not acceptable in Islam. Obtaining an embryo donor has a more complicated procedure, but it is considered legal if the sharia court approves a written

application. Nevertheless, cross-border reproductive assistance is prohibited, since in case of donation the parties can be only Iranian citizens [18]. There are a number of requirements for both parties: a donor and a recipient: valid forms of consent of both parties, evidence of mental and physical health, lack of dependence, incurable diseases, hepatitis or acquired immunodeficiency syndrome [15]. However, problems may arise in this case, as many Iranian couples prefer referring to a *mahram* (“a close relative” in Arabic) as a donor, which is a safer option for preserving *nasab*, but this increases the risk of real incest which is considered as a crime. However, if they do not resort to the family members’ help, but to a third party, they use the other concept called *ridā’a* (“fosterage” in Arabic). A woman who is breast-feeding is a *ummu bir-ridā’a* (“a milk mother” in Arabic) and can establish family ties [1].

In 1999, the Great Ayatollah, Sayyid Ali Hosseini Khamenei issued fatwa [25], by which surrogacy, donation of eggs and embryos were allowed. It is important to understand that he holds the title of *Marji’ taqlid* (“source to follow” in Persian), so that he is impeccable and cannot make any mistakes. In accordance with the provisions of fatwa, a surrogate mother cannot replace a biological parent, since the biomaterial belongs to the genetic mother, although in many Western countries this issue may be regulated in other way.

The problem still remains

In the case of sperm donation there is different situation. The father of the child is explicitly donor, since it is impossible to establish a family relationship with the recipient-parent. Due to this phenomenon problems with estate may arise, since the donor has the exclusive right to inherit the property of the child. Under no circumstances can the recipient-parent replace a donor, so that there is no way to justify the use of insemination of donor sperm. Most shia *fakih*s agreed that this is unacceptable. For this reason, the couple is inevitably subjected to ummah’s criticism, because the knowledge of all fathers of children is vital due to the dominating concept of *nasab*. Furthermore, gestational surrogate motherhood is acceptable if the biomaterial belongs to true parents whose *nasab* is to be preserved, so that surrogate mother is only a rear and has no rights upon the child she bears.

Yet under no circumstances will allow Sunni Muslims, who follow more harsh restrictions surrogate motherhood, artificial insemination and injection of gametes and zygotes got from the third parties. However, in the Lebanese Republic egg donation has recently been allowed, so lots of couples seek it there, justifying as if it was polygamy (at the same time, temporary marriage

does not take place, since it is forbidden by the Sunni Islam).

Other problems related to ART

Another controversial issue is a ban on access to ART (especially to cryopreservation of biomaterial) for single, unmarried individuals. Perhaps it can be explained by the low age of marriage (for women) in Muslim countries, although today it is rather exceptional cases: in Iran and Kuwait 15 years, in Lebanon 17 years and no limits in Saudi Arabia. On average the marriage age for men and women is 18 years old (permission to marry at an earlier age can be gained only via judge ruling). Nevertheless, it should not prevent from saving germ cells to have offspring in future, as there may be a variety of reasons why a person does not want to marry at this moment, but he or she is likely to have some health problems. There must be a choice.

Taking into account the largest legal reform in UAE history, the concept of marital birth is being questioned. The federal crime and punishment law decriminalizes consensual relationships outside of marriage and provides that such couples will be required to marry or singly or jointly acknowledge the child and provide identification papers and travel documents in accordance with the laws of the country of which either is a national, considering the applicable laws of that nation. Failure to follow rules incurs imprisonment for 2 years (the law has come into force on 2nd January, 2022). It's a matter of time whether it may adjust IVF law in future and apply to unmarried couples who seek for artificial reproductive assistance. If such unique situation took place, it would influence the whole approach [21].

The issue of state financing of ART is also significant because it guarantees control over this phenomenon and the safety of operations. The KSA, Egypt, the UAE, Lebanon and Iran provide partial state funding for reproductive assistance either through state hospitals or through certain forms of insurance in order to encourage couples having at least two children per family [10], but this trend is not observed in other Muslim countries.

However, a number of unsolved issues remain. For example, what should a doctor do if before the final stage of using one of the types of ART (for example, transfer of cultured cells in vitro) the husband dies and storage of gametes is formally considered impossible? Gamal Abu Al-Serour, an Egyptian doctor, considers it possible to give permission to continue the procedure, taking into account the circumstances of the death of the father [4]. However, this formally contradicts the letter of the law. It is also worth noting that any legislation of above-mentioned Muslim countries doesn't outline an upper age limit for a candidate (woman) applying for reproductive help. It is likely that the doctor

should decide, however, his instructions are advisory, in fact the couple may insist on the procedure risking the health of mother and child.

Discussion

In general, one can conclude that in most cases the laws of the Arab countries are not very modern, since the majority of them were adopted in the 2000s–2010s, and only in four countries they were updated in the last 3 years: the Kingdom of Bahrain and the Sultanate of Oman in 2017, the Kingdom of Morocco and the Algerian People's Democratic Republic in 2018. However, some Muslim countries, for example, Malaysia and Qatar even do not regulate these issues by laws. A number of states like Saudi Arabia, Malaysia and Jordan pay more attention to the study of embryonic cells, rather than access to assisted reproductive technologies. As for the shi'ite state, no matter how conservative Iran may seem due to real theocracy, it turns out to be the most progressive and liberal in relation to assisted reproductive technologies. Despite established ethical committees and professional bodies, changes are being adopted slowly. Religion has a great influence. Nevertheless, when it comes to a threat of the mother's and child's health, ethical issues concede scientific ideas. Most Muslim states' lawmakers work with doctors to meet the ummah's needs. Nevertheless, provided that access to ART has been possible since the 2000s, the demographic situation has not returned to the level of the 1970s, which indicates the need for further development in this direction regarding the Muslim countries' policy.

To sum up, we can say that the question is not about what the form of the technology is used, but whose biological material is used. If there is no third-party intervention (donation, sale or import and export of gametes and zygotes, surrogate motherhood), it does not matter which ART is used to achieve the result. Although it is worth mentioning that even gestational surrogate motherhood does not violate Sharia regulations taking into account shia *fakihs*' point of view, which seems logical, since it does not even violate the prohibitions which Sunni treat as obstruction. For this reason, perhaps some Arab countries should reconsider their critical attitude towards this type of ART. Regarding the choice of child's gender, which seems unacceptable in Islam, the majority of the *mujahids* conclude provided it is vitally necessary for medical reasons, it can be allowed individually.

Conclusion

There is a table which was drawn up by the authors in accordance with the data of legislation.

| States/ ART+ situations | Alge- ria | Bah- rain | Egypt | Jor- dan | Iran | Ma- laysia | Leba- non | Mo- rocco | UAE | Oman | Saudi Ara- bia | Tuni- sia | Tur- key |
|--|--------------|--------------|-------|-------------|------|------------------|--------------|--------------|-------------|------------|----------------------|--------------|-------------|
| Anonymous third-party assistance | - | - | - | - | - | +/- | - | - | - | - | - | - | - |
| Cryopres- ervation of embryos | ? | 5 years | + | ? | + | ? | ? | - | 5 years+ | 5 years | ? | 5 years | + |
| Cryopres- ervation of gametes | ? | 10 years | + | ? | + | 5 years +1 | ? | 5 years | 5 years+ | 5 years | ? | 5 years | + |
| Donation/ selling em- bryos | - | - | - | - | + | +/-* | - | - | - | - | - | - | - |
| Donation/ selling gametes | - | - | - | - | + | +/-* | + | - | - | - | - | - | - |
| Embryo banks | - | - | ? | ? | + | ? | ? | - | - | - | - | - | + |
| Gender selection | - | - | ? | ? | + | + | ? | ? | + | ? | ? | ? | - |
| Research/ experiments | - | - | + | - | + | + | + | - | + | - | + | - | - |
| Artificial insemina- tion in vitro | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | - |
| IVF | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Surrogacy | - | - | - | - | + | ? | - | - | ? | - | - | - | - |
| PGD | ? | ? | + | ? | + | + | ? | ? | ? | ? | ? | ? | + |
| Culturing cells or em- bryos and transferring them in vitro | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Lonely/ non-married couples | - | - | - | - | - | - | - | - | 5 years+ | - | - | + | - |
| Medical tourism | ? | ? | + | ? | + | + | + | ? | + | ? | + | ? | - |

*Donation and selling both gametes and embryos are widely practiced in Malaysia, though law doesn't approve, but, as maxim says, everything which is not forbidden is allowed.

One can see that it is a common situation when laws establish the right of using ART in a negative way, emphasizing which types are prohibited. In

this regard a number of questions arise, which are resolved by the *mujahids* themselves issuing the relevant fatwas. In general, they follow the principle: what is not allowed is forbidden. However, for instance, in Malaysia and Egypt the laws are often violated since there is no liability other than ummah's condemnation. It would result in imprisonment and a fine to a doctor and a married couple in Saudi Arabia and Bahrain.

Despite the fact that the Muslim legal system is based on two main religious books: the Qur'an and the Sunnah, in which there is no reference to ART, by interpreting and by adapting laws and religious dogmas, the legislation of Sunni and Shi'ite countries is dynamic developing within their traditions.

Being convinced that it is possible to reach a consensus on the development of ART in Muslim countries without the intervention of Western ideas which seem to be contrary to the Qur'an, we considered one of the possible ways to solve the problem. Given that law is dynamically developing along with public relations and is steadily granting access to goods within the framework of the law, there is no need to turn to the radically conservative points of view, which are still held in some countries. In some states such as Malaysia, Iran, Bahrein, Oman, Tunisia and especially Egypt, the UAE there is a shift from a taboo to a cultural acceptability [3]. In our opinion, the purpose of laws is to reasonably restrict citizens, but at the same time to contribute to the development of society (*ummah*).

Conflict of interest information. The authors declare no conflict of interest.

References / Список литературы

1. Al-Torki S. Milk Kinship in Arabic Society: An Unexplored Problem in the Ethnography of Marriage. *Ethnology*, 1980, vol. 19, no. 2. pp. 233–244; <https://doi.org/10.2307/3773273>
2. Chernogor N.N., Zemlin A.I., Kholikov I.V., Mamedova I.A. Impact of the Spread of Epidemics, Pandemics and Mass Diseases on Economic Security of Transport. *E3S Web of Conferences*, 2020, vol. 203. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020305019>;
3. Colliers. Market Report: IVF in the MENA Region. Focusing on the UAE, KSA & Egypt. 21.06.2021. <https://www.colliers.com/en-ae/research/dubai/ivf-in-the-mena-region>
4. Dickens B.M., Serour G.I., Cook R. J., Qiu R. Z. Sex selection: treating different cases differently. *International Journal of Gynecology & Obstetric*, 2005, vol. 90, no. 2. pp. 171–177.

5. Eberstadt N., Shah A. Fertility Decline in the Muslim World. *Policy Review*, 2012, vol. 173, pp. 29–44. <https://www.hoover.org/research/fertility-decline-muslim-world>
6. Gürtin Z. B. Assisted Reproduction in Secular Turkey: Regulation, Rhetoric, and the Role of Religion. In Inhorn M.C., Tremayne S. (eds.). New York: Berghahn Books, 2012.
7. Gürtin Z. B. Banning Reproductive Travel? Turkey's ART Legislation and Third-Party Assisted Reproduction. *Reproductive Biomedicine & Society Online*, 2011, vol. 23. pp. 555-565. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2011.08.004>
8. Gürtin Z. B. Patriarchal pronatalism: Islam, secularism and the conjugal confines of Turkey's IVF boom. *Reproductive Biomedicine & Society Online*, 2016, Vol. 2, pp. 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.rbms.2016.04.005>
9. Haeri S. *Law of Desire: Temporary Marriage in Shi'i Iran (Contemporary Issues the Middle East)*. Syracuse University Press, 1989. 312 p.
10. Inhorn M. C. Cosmopolitan Conceptions: IVF Sojourns in Global Dubai. *Journal of International and Global Studies*, 2015, vol. 8, no. 2. pp. 103–106
11. Inhorn M. C., Birenbaum-Carmeli D., Tremayne S., Gürtin Z. B. Assisted reproduction and Middle East kinship: a regional and religious comparison. *Reproductive Biomedicine & Society Online*, 2017, Vol. 4, pp. 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.rbms.2017.06.003>
12. Inhorn M. C., Tremayne S. *Islam and Assisted Reproductive Technologies: Sunni and Shia Perspectives*. New York: Berghahn Books, 2012. 346 p.
13. Islamic Organization of Education, Science and Culture (ISESCO). Ethical implications of human embryo research. Serour G. I. (editor). Morocco: Rabat, 2002. <http://archive.isesco.org.ma/templates/isesco/publications/en/Human%20Embryo/humanEm.php>;
14. Islamic Organization of Education, Science and Culture (ISESCO). Ethical reflection of advanced genetic research. Qatar: Doha, 1993. <http://www.bioline.org.br/pdf?mf05030>
15. Khan M. A. Z., Konje J. C. Ethical and religious dilemmas of modern reproductive choices and the Islamic perspective. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*, 2018, vol. 232, pp. 5–9. <https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2018.10.052>
16. Kholikov I.V., Sazonova K.L. International legal aspects of responsibility of states and international organizations for the spread of epidemics, pandemics and mass diseases. *Military Medical Journal*, 2015, no. 8. pp. 51–57. <https://doi.org/10.17816/RMMJ73965>

17. Kooli C. Review of assisted reproduction techniques, laws, and regulations in Muslim countries. *Middle East Fertility Society Journal*, 2020, vol. 24, no. 8. <https://doi.org/10.1186/s43043-019-0011-0>
18. Lustig A. B., Brody B. A. McKenny G. P. *Altering Nature: Volume II: Religion, Biotechnology, and Public Policy* (Vol. 97–98 of *Philosophy and Medicine*). Springer, 2008. 356 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6923-9>
19. Melnichenko P.I., Damaskin O.V., Kholikov I.V. Organizational-legal aspects of resistance to spread of HIV/AIDS in servicemen. *Military Medical Journal*, 2005, no. 2, pp. 50-54.
20. Population Division of Department of Economic and Social Affairs of the United Nations. *World Population Prospects: the 2019 Revision*. United Nations, New York. URL: [https://population.un.org/wpp/Download/Files/1_Indicators%20\(Standard\)/EXCEL_FILES/2_Fertility/WPP2019_FERT_F04_TOTAL_FERTILITY.xlsx](https://population.un.org/wpp/Download/Files/1_Indicators%20(Standard)/EXCEL_FILES/2_Fertility/WPP2019_FERT_F04_TOTAL_FERTILITY.xlsx)
21. Ryan P. UAE legal reforms: What the law says about children born outside marriage. 28.11.2021. <https://www.thenationalnews.com/uae/courts/2021/11/28/uae-legal-reforms-what-the-law-says-about-children-born-outside-of-marriage/>
22. Sazonova K. L., Kholikov I.V. The Ebola Response Team Deployment in the Guinea Republic: Organizational, Ethical, Legal Issues and a Problem of Responsibility. *Ethical Challenges for Military Health Care Personnel*. Messelken D., Winkler D. (editors). New York: Routledge, 2018. pp. 38-51.
23. Sargent C., Clarke M. *Islam and New Kinship: Reproductive Technology and the Shariah in Lebanon* (*Fertility, Reproduction and Sexuality: Social and Cultural Perspectives* Book 16), New York: Berghahn Books, 2012. 254 p.
24. Serour G. I. Islam and the four principles. In *Principles of Health Care Ethics*. in Raanan Gillon (ed). John Wiley & Sons Ltd, London, 1994. pp. 75–91.
25. Serour G. I. Islamic perspectives in human reproduction. *Reproductive Biomedicine and Society Online*, 2008, vol. 17, Suppl. 3, pp. 34–38. <http://www.rbmonline.com/Article/3387>
26. Serour G. I., Dickens B. M. Assisted reproduction developments in the Islamic world. *International Journal of Gynecology & Obstetrics*, 2001, vol. 74, no. 2. pp. 187–193. [https://doi.org/10.1016/S0020-7292\(01\)00425-8](https://doi.org/10.1016/S0020-7292(01)00425-8)
27. Sultan H.A., Harper J. C. Legalization and Islamic Bioethical Perspectives on Prenatal Diagnosis and Advanced Uses of Preimplantation Genetic Diagnosis in Saudi Arabia. *Journal of Clinical Research & Bioethics*, 2012, vol. 1, no. 003. <https://doi.org/10.4172/2155-9627.S1-003>
28. The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). *Universal declaration on bioethics and human rights*. Paris, 2005. <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001461/146180E.pdf>

29. Tremayne S., Akhondi M. M. Conceiving IVF in Iran. *Reproductive Biomedicine and Society Online*. 2016. Vol. 2. P. 62–70. <https://doi.org/10.1016/j.rbms.2016.07.002>
30. United Nations. Consideration of reports submitted by States parties under article 40 of the Covenant: International Covenant on Civil and Political Rights: 5th periodic report: Tunisia, 2007. http://dag.un.org/bitstream/handle/11176/266000/CCPR_C_TUN_5-EN.pdf?sequence=1&isAllowed=y
31. Zhdanov K.V., Kholikov I.V. Provision of aid to the Guinea Republic in struggle against Ebola epidemics. *Military Medical Journal*, 2015, no. 2. pp. 93-95.
32. محمد النجار جدل بشأن تحديد جنس المولود [Al-Najjar M. Controversy over the determination of the sex of the newborn]. 04.10.2010. <https://www.aljazeera.net/news/healthmedicine/2010/10/4/المولود-جنس-المولود-بشأن-تحديد-جنس-المولود>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Viktor A. Shestak, Dr. Sc. (Law), Professor of the Department of Criminal Procedure

*Moscow Academy of the Investigative Committee of the Russian Federation
12, Vrubel Str., Moscow, 125080, Russian Federation*

viktor_shestak@mail.ru

SPIN-code: 2601-5020

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0903-8577>

ResearcherID: AAA-1725-2019

Scopus Author ID: 57219598832

Alyona D. Tsyplakova, LL.B.

*Moscow State Institute of International Relations (University) of the Ministry
of Foreign Affairs of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation
76, Prospect Vernadskogo, Moscow, 119454, Russian Federation
tsyplakova.a.d@my.mgimo.ru*

SPIN-code: 3399-4205

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8564-0696>

ResearcherID: ACL-0026-2022

Scopus Author ID: 57226144643

Ivan V. Kholikov, Dr. Sc. (Law), Professor of the Department of International and European Law
Institute of Legislation and Comparative Law under the Government of the Russian Federation
V. Cheremushkinskaya Str., 34, Moscow, 117218, Russian Federation
iv_kholik@mail.ru
SPIN-code: 7311-5596
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0421-5829>
ResearcherID: R-3958-2017

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Шестак Виктор Анатольевич, д-р юр. наук, профессор кафедры уголовного процесса
федеральное государственное казенное образовательное учреждение высшего образования «Московская академия Следственного комитета Российской Федерации»
ул. Врубеля, 12, г. Москва, 125080, Российская Федерация
viktor_shestak@mail.ru

Цыплакова Алёна Дмитриевна, бакалавр права
Московский государственный институт международных отношений (университет) Министерства иностранных дел Российской Федерации
пр. Вернадского, 76, г. Москва, 119454, Российская Федерация
tsyplakova.a.d@my.mgimo.ru

Холиков Иван Владимирович, д-р юр. наук, профессор кафедры международного и европейского права
Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации
ул. Б. Черемушкинская, 34, г. Москва, 117218, Российская Федерация
iv_kholik@mail.ru

Поступила 14.07.2022
После рецензирования 10.08.2022
Принята 26.08.2022

Received 14.07.2022
Revised 10.08.2022
Accepted 26.08.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-454-473

UDC 911.2



Original article | Geoecology

COMPREHENSIVE GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE FEATURES OF URBANIZED TERRITORIES

*L.A. Lomova, O.B. Istomina, A. Dooranov,
R.A. Aleshko, O.M. Tsuglenok*

Objective. *The aim of the study is to identify important features of the geoecological study of cities, as well as to consider the main approaches and methods that are used in the geoecological analysis of morphologically heterogeneous indicators.*

Materials and methods. *The object of research is geosystems in geography and ecosystems in ecological science. It is this systematic approach that brings ecology and geography closer together.*

Results. *As a result of the interaction of society with the natural environment, one can see a new branch of knowledge - geoecology. So, it is necessary to take into account spatial or territorial patterns. The science of geoecology is the link between geography and ecology for solving various problems of the natural environment. Exactly, we can talk about the spatio-temporal features that have the interaction of organisms with the environment and territorially differentiated systems of relationships.*

Conclusion. *At the present time, the modern interest of society in environmental science is quite explainable. Its main problem is survival in those conditions of the natural environment, which are greatly changed as a result of human economic activity. All over the world, a large role is assigned to the health of the population due to the problem of anthropogenic pollution of the environment. It causes significant damage in the geographical, biological, economic spheres, as well as its individual enterprises. There is a serious threat of violations not only of the biosphere, geosphere, atmosphere, but, in general, the entire geographic envelope. The first area is the subject of environmental research, and the second area is geography. As a result of these events, one can undoubtedly speak of a huge similarity and overlap between these sciences.*

Keywords: *geoecological research; geosystem analysis; city; geographical approach; geographic environment; landscape approach; ecological approach; ecological-geographical analysis*

For citation. Lomova L.A., Istomina O.B., Dooranov A., Aleshko R.A., Tsuglenok O.M. Comprehensive Geoecological Assessment of the Features of Urbanized Territories. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 454-473. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-454-473

Научная статья | Геоэкология

КОМПЛЕКСНАЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОСОБЕННОСТЕЙ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

*Л.А. Ломова, О.Б. Истомина, А. Дооранов,
Р.А. Алешко, О.М. Цугленок*

Цель работы. Целью исследования является выявление важных особенностей геоэкологического изучения городов, а также рассмотрение основных подходов и методов, которые используются при геоэкологическом анализе морфологически неоднородных показателей.

Материалы и методы. Объектом исследования являются геосистемы в географии и экосистемы в экологии. Именно такой системный подход сближает экологию и географию.

Результаты. В результате взаимодействия общества с природной средой можно увидеть новую отрасль знаний – геоэкологию. Итак, необходимо учитывать пространственные или территориальные закономерности. Наука геоэкология является связующим звеном между географией и экологией для решения различных проблем природной среды. Именно, можно говорить о пространственно-временных особенностях взаимодействия организмов со средой и территориально дифференцированных системах взаимоотношений.

Заключение. В настоящее время современный интерес общества к науке об окружающей среде вполне объясним. Его главная проблема – выживание в тех условиях природной среды, которые сильно изменились в результате хозяйственной деятельности человека. Во всем мире большая роль отводится здоровью населения в связи с проблемой антропогенного загрязнения окружающей среды. Она наносит значительный ущерб в географической, биологической, экономической сферах, а также отдельным ее предприятиям. Возникает серьезная угроза нарушений не только биосферы, геосферы, атмосферы, но и вообще всей географической оболочки. Первое направление – предмет экологических исследований, второе – география. В результате этих

событий, несомненно, можно говорить об огромном сходстве и пересечении этих наук.

Ключевые слова: *геоэкологическое исследование; геосистемный анализ; город; географический подход; географическая среда; ландшафтный подход; экологический подход; эколого-географический анализ*

Для цитирования. *Ломова Л.А., Истомина О.Б., Дооранов А., Алешко Р.А., Цугленок О.М. Комплексная геоэкологическая оценка особенностей урбанизированных территорий // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №1. С. 454-473. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-454-473*

Introduction

Currently, geoeological research is at the stage of its active development. They are aimed primarily at solving the problems of many issues that can be studied within the framework of such geographical systems as “nature - economy - society”. All this can take place on the basis of comprehensive research: ecological, physical-geographical, economic-geographical and socio-ecological.

Research in the field of geography and ecology is aimed at developing not only theoretical foundations, principles and standards for rational environmental management, but also sustainable development of society, as well as optimizing its interaction with the natural environment [5; 31].

At the moment, studying the modern urban system is an interesting and challenging research process. This is a special territorial system, which is both a complex national economic complex and a form of human settlement. In this case, the approach to the study of the urban environment must necessarily be comprehensive, even when the study of the sides of his life takes place separately [13; 29].

One of the main tasks of the geoeological study of the urban system is to show it as a complex of interacting geographic and socio-economic phenomena [4; 10]. That is, it is need to know not only the peculiarities of its position, identify patterns of population and territory growth, assess natural conditions as an environment for development, but also identify the features of the economic component and relationships in the settlement system, relationships with the natural environment [9; 27].

When conducting such a study, the main thing is to pay attention to the study of geoeological studies, as well as environmental problems and the development of the city [41; 42; 44].

A feature of the geoeological studies of cities is the different quality and different scale of the elements of its geosystems, as well as the extreme diversity [28; 35]. Thus, geoeology focuses on comprehensive studies that are associated

with the quality of the living environment of the population and the development of recommendations for rational nature management, with a geoecological assessment of the consequences of economic activities.

Methods

In this article, to study the features of the geoecological study of cities, a group of theoretical methods was used using analysis, synthesis, abstraction, the rules of abstract logic, the theory of similarity and analogy, as well as various specific scientific and general scientific principles and methods.

The methodological setting of geoecological research can be formulated as a set of the following approaches: ecological, landscape, geographic. A number of scientists distinguish the methods of geoecological analysis: the method of ecological-geographical analysis, the method of geosystem analysis, methods of cluster and factor analysis. The most important are ecological-geographic and geosystem analysis [13]. In the geoecological analysis of a large number of morphologically heterogeneous indicators, cluster and factual analysis methods are used.

Discussion

It is important to say that the science of geoecology as a geographical discipline becomes the science of the geographical environment as a whole, as well as its natural territorial complexes, geosystems. All this is studied as a habitat for organisms on the one hand, but on the other hand, as an environment for socio-economic activity. The aim of the study is to optimize the solution of problems that are associated with the state of the surrounding landscapes, natural and anthropogenic processes affecting it, with the receipt of natural benefits. Namely, the totality of natural resources and conditions that can be used by humanity.

Results

From the point of view of studying geoecological research, it is worth paying special attention to the problems of the development of the environment and the urban system.

As early as the 4th century, there were the beginnings of urban settlements. The word “city” originally meant “fenced in”, after a while - a settlement, protected, fenced.

From history, the concept of “city” included [20]: a fairly clear demarcation of the location using a different type of fence; the need for a number of functional systems that are associated with defense and administration (secular and ecclesiastical), craft, trade and education; certain civil rights of the urban

area, as well as forms of self-government, which in most cases are enshrined in customs, traditions or laws.

As a result, it can be noted that in the past the city fulfilled the social needs of people and satisfied their psychological, biological, labor, material, ethnic, social and spiritual needs. He also kept them safe and healthy, while providing resources. An urban area is the place that the population has deliberately chosen and implemented their habitat here or occupied an ecological niche [30; 38]. The basic rules for building an urban system are: safety, accessibility, resources, health and attractiveness.

After some time, the urban area has undergone changes in the time of social, demographic, natural, economic, technological, political phenomena and processes [2].

According to the size of cities, at present, the following classification has been adopted in geography: small cities – up to 50 thousand inhabitants, medium – 50-100, large – 100-250, large – 150-500, the largest – 500-1000 thousand inhabitants and over 1 million are millionaire cities.

The concept of “city” lies in the ecosystem, which includes three complex subsystems:

1. Natural environment. It consists in the totality of the following systems: man-made, natural, economic and social.

2. Urban population. It unites the totality of people who are connected by the urban environment and social relations. They are engaged in the definition of a number of functions: the development and management of the city, its functioning, the development of the urban area [36; 38]. But the urban population is the main city-forming factor [32; 34].

3. Urban environment. This subsystem includes the habitat of human production activities. It consists in the totality of man-made, social, natural and economic conditions of human life.

As you know, the geoecological state of urban areas, as well as the quality of the living environment of the urban population are determined, first of all, by the relationship of natural and anthropogenic factors. The urban environment in small and large cities is largely different. At present, one can see a deterioration in the quality of the environment in large cities, where human economic activity is most manifested, and in small and medium-sized ones [26].

Researchers of urban areas distinguish three main groups of processes that affect the successful development of the city: natural (endogenous and exogenous); natural-man-made (natural, but qualitatively and quantitatively changed by human economic activity); technogenic (arose as a result of human engineering and economic activities).

The main purpose of studying the natural conditions in a given place is to determine what is the greatest impact of individual fragments of the natural environment on certain elements of the economy of the urban system [15].

Regardless of social and natural adverse events, the development of small and medium-sized cities is determined [8]. The permanent existence of small towns is determined, first of all, by their direct relationship with the natural and anthropogenic environment. The ecological resources of a small town depend, to a greater extent, on natural factors, the state of the environment, lands, historical and architectural landscapes, and forests. The material and energy resources of the environment include the main condition for the sustainable existence of a small town. Thanks to them, a small town retains significant independence from external social and economic changes.

Small towns located in the forest-steppe zone are more sustainable. The high ecological potential of these cities is explained by the presence of the following factors: supplies of drinking water, building materials, energy resources; optimization of the use of household plots to provide the entire population with food; the use of fertile soils. However, small towns have the main elements of urban infrastructure: schools, warehouses, communications, hospitals, libraries, local industrial enterprises [21; 43].

The ecological potential of a small town is the property of a given territory to maintain its system under the influence of external factors (man-made and natural), to make it possible to perform other or additional socio-economic functions of a small town [1]. All this can be done provided that there is no deterioration in the living conditions of the urban and rural population, as well as be able to continue to perform socio-economic functions within the specified limits. It should be noted that the ecological potential of the urban environment is formed from the sum of the potential of the location and the potential of the territory.

Three groups of factors [33] are determined using the location potential: transport accessibility is the need to go to the minimum transport costs; work orientation (labor resources) – minimum labor costs are required; striving to benefit from the territorial concentration of production [40].

The potential for the location of the territory is ascertained by regional conditions: physical and geographical, as well as economic and geographical.

Geographical resources (construction, industrial, aesthetic, recreational) and those properties of natural conditions that determine the characteristics of these territories, as well as its suitability and significance, affect not only for living, but also for the comfortable existence of people, i.e., to create a habitat [34].

Most often, outside the city, natural factors are used to determine the microclimate, and in the urban area, urban planning factors are the main ones.

The climate of the area is seriously affected by the technological processes of the development of industry and energy, the development of transport in the urban environment, as well as emissions of negative substances into the atmosphere [16; 17]. It should be noted that the influx of direct solar radiation to the active surface of the earth decreases by 10-25%, however, in the surface layer of the city, the temperature rises by 8-160C.

The climate of the urban area, together with other meteorological factors, is determined not only by the wind regime, but also by the nature of the underlying surface. An important aspect of the surface of urban development is the existence of semi-enclosed spaces in it, snatched out by the development plan. The nature of the circulation of air flows is significantly affected by the increased surface roughness of urban locations with high-rise and low-rise buildings. Heat transfer to the environment can be very difficult due to the mutual irradiation of vertical and horizontal surfaces and weakened ventilation inside semi-enclosed rooms. Special microclimate conditions are also formed by various artificial surfaces [17].

In the event that more than 50% is the building density, then this characterizes, mainly, the ancient territory. Here you can designate the highest degree of surface coverage by all kinds of road surfaces; areal distribution of technogenic soils, the greatest thermal impact on soils, often in industrial areas, as well as soil pollution (chemical and biological). In urban areas with low-rise planning, natural landscapes dominate. These include: open water bodies, natural relief, forest parks, parks and other green spaces. It can be noted that nature itself is included in the landscape of such urban complexes. In humans, environmental needs are met through the unity of buildings in space, as well as the same surfaces and green spaces. These urban areas can be called complex natural-anthropogenic systems. In these cities, it is necessary to preserve green spaces, which are equal in area to territories occupied not only by asphalt pavements, but also by industrial zones, various buildings and many other urban structures.

The concept of a city includes a system that functions and develops very quickly [18]. It includes such sections as housing and communal services, the system of social services, transport infrastructure, as well as medicine and education, leisure and recreation facilities.

An accumulation system can also be called a city. Harmful substances within the city, as a rule, have a positive balance. All this leads to the accumulation of waste that was received earlier in the previous transformations; to the violation of the natural relief of the area: in some places there are hills, and somewhere landslides and sinkholes. Natural surface water resources can become silted up and, as a result, change their direction. For convenience, water streams are hidden un-

derground in the sewers of the drainage system. The consequence of this is the termination of the natural self-purification of water and the content of harmful impurities increases. As a result, the composition and properties of water change [25].

Phenomena not characteristic of living nature have a certain pattern of accumulation in the city. So, the atmosphere is clogged with gas emissions, soils accumulate harmful substances. Since nature loses its ability to heal itself and is unable to recycle all the negative consequences of urbanization, the effect of their accumulation occurs.

An ecosystem can also be called a city, which has a huge interdependence with the environment. Typically, all ecosystems are open, and cities are ultra-open ecosystems. They not only depend on the environment as much as possible, but also influence it. On the one hand, the city consumes natural resources and energy, on the other, it produces a large amount of all kinds of waste [6].

The city is an unbalanced ecosystem. The ecological balance within the urban area has been disrupted. The structures of cities develop and function not according to the laws of nature, but, as a rule, in accordance with the needs of people. These structures arise under the influence of the destructive and creative activities of many generations of people. The reaction of nature to such transformations is not always unambiguous [16]. As a result, the amount of matter and energy that the city needs for normal functioning is much more than it produces. Ecological balance, in this case, is achieved by attracting from outside a large number of flows of substances and energy. As a result, the ecological balance of ecological systems is not sustainable.

The urban area is a set of artificial ecological microsystems. Here it is necessary to note the buildings and structures of residential, as well as industrial, communal and warehouse development [22; 39]. Buildings and structures are not an autonomous ecological system due to the fact that they are closed [45]. It is important to note that everything is interconnected with the natural environment. After all, dust, gases and living microorganisms from polluted outdoor air enter the premises. This mode of aeration and insolation does not always ensure the deterioration of the ecological situation in buildings. It is the noise pollution of the territories adjacent to the development that has the greatest impact on the ecological comfort of the internal environment. For example, rail transport also affects vibration phenomena.

There are three main directions for the impact of a modern city on the human environment [14].

First, the creation of a new, high-quality environment. The urban area itself has become a kind of habitat.

Secondly, the urban system has turned into hotbeds of active influence on the surrounding space. At the same time, an active metabolism with the immediate environment is maintained in each city. Examples of city metabolism include the organization of suburban agriculture, as well as the need for water supply and collection of sewage.

Thirdly, the urban system began to noticeably influence the course of natural processes. As a result, the power supply of cities is increasing; there is an increase in industrial production and traffic flows; the length of the zone of contacts between the rural environment and the technogenic environment of the city, where natural processes prevail, is increasing [23; 37].

There are three groups of problems, taking into account the analysis of the problems of interaction between man and the natural environment in a modern city.

Firstly, these are the problems associated with the impact of the man-made changed environment on the urban population [3; 4].

Secondly, these are problems that arise when the (polluted) environment influences urban areas, the landscapes not only of these cities, but also of adjacent territories.

Thirdly, these are problems that are the result of the influence of urban areas (polluted environment) on their material and technical facilities.

It is necessary to dwell on each problem. It is known that environmental pollution negatively affects the health of the population. As a result, due to the poor health of workers, the quality and productivity of labor decreases. Unfortunately, the incidence of children is especially noteworthy [5; 11].

At present, the impact of urban environmental pollution on natural objects is significant. Emissions from urban areas intensively pollute not only water and air basins, but also soil. As a result, this is the destruction of natural systems. Urban planning changes the soil water regime and destroys the lithosphere. The quality of not only water, but also land resources can be preserved only if the anthropogenic load on the soil cover is reduced.

Unfortunately, environmental pollution often leads to irreversible consequences. Gas emissions into the atmosphere in the urban environment, which contain toxic substances, pollute the territory of the city, along with this, the productivity of agricultural crops decreases. In the future, this yield returns to the city along with agricultural products. In addition, polluted and water resources, reservoirs that supply the entire population with fisheries, which contain all those chemicals that come from industrial facilities. Of course, all this has a negative impact on human health [7; 9; 24].

One of the most harmful and dangerous types of soil degradation is their contamination with heavy metals. This creates enormous problems in the active use of

land and water resources. The highest concentration of heavy metals can be seen in dust deposition that settles on artificial surfaces. More dangerous for the surrounding areas is the open soil surface, mainly around parking lots and factories.

According to the degree of pollution in the city, it is possible to determine the areas that are more favorable, from an ecological point of view, for human life, as well as, on the contrary, subject to strong anthropogenic loads [12; 19; 21].

At present, for the study of geoecological conditions, as well as the degree of pollution of the territory, it is of great importance not so much to acquire new knowledge as to systematize it. As a result, a systematic approach is used to study this problem.

Geoecology, mainly, reflects to a greater extent the complex views of the world, as well as complex and ambiguous processes of integration of the synthesis of social and natural phenomena. Ecological, landscape and geographical approaches played the greatest role in its appearance and formation [10; 40].

The direction of the geographical approach is determined by the study of various processes and phenomena that are classified territorially, develop and are organized in space and time.

The use of the landscape approach is carried out to identify patterns of formation, functioning, dynamics and evolution, as well as territorial integration and differentiation of natural complexes - landscapes.

Considering the ecological approach envisages the relationship between the environment and human activities.

The study of a complex complex geoecological process in its structure presupposes the use of a combination of ecological, geographical and many other research methods. The main importance, among them, is the ecological-geographical and geosystem analysis.

Conclusion

Geosystem analysis is a set of methods for studying natural-anthropogenic and natural landscapes. The process is carried out using ways to identify the relationship between components and elements of landscapes and their close relationship with other landscapes.

The concept of “ecological-geographical analysis” includes a set of methods for studying the interaction of natural-anthropogenic and natural landscapes with society. This analysis includes landscape, comparative geographical, distance, cartographic and other methods.

These two analyzes: ecological-geographical and geosystems are aimed at the geoecological assessment of the territory, which consists in determining the

degree of productivity of natural-landscape conditions for human habitation and economic activity.

Of great importance in the geoecological analysis of the maximum number of morphologically heterogeneous indicators is the use of cluster and factor analysis methods. A significant point among a large set of various factors affecting the quality of the natural environment and human health is the selection of the most and least important. Principal component analysis is of particular interest in factor analysis. The most measurable features (observables) are functions of a set of more important existing factors. The main task of factor analysis is their identification. The first factor provides the most valuable information. In comparison with the rest, while the second most important factor again becomes the main one. The number of all these main components cannot exceed the number of primary factors. Components that are of little importance are usually not considered. All this allows you to narrow the circle and make it much fewer factors that need to be considered and not lose sight of the most significant ones. Using this method, it is possible to study the impact of natural and anthropogenic factors on the nature and degree of pollution of the study area, as well as due to a comprehensive assessment of the quality of the natural environment, the most significant pollutants are identified and further tasks and measures are proposed to improve this situation.

Cluster analysis methods, or classification methods, can be applied in the study of anthropogenic pressure on cities. Because of this method, it is possible to classify a number of objects in space into clusters or groups. As a result, in the first class you can see objects that are close in meaning, but these classes are distant from each other. Initially, the objects under consideration are studied as a number of independent classes, after which a pair of the most approximate classes is determined; thus, several classes are combined into one. As a result, this number of classes is reduced by one. In the course of the next split, two classes are formed. To study the anthropogenic load on the natural environment, it is best to use in combination the method of cluster analysis and the method of factor analysis.

References

1. Alekseenko V.A. *Ekologicheskaya geokhimiya* [Ecological geochemistry]. M.: Logos, 2000, 627 p.
2. Arustamov E.A. *Upravlenie prirodoy* [Nature management]. Moscow: Dom "Dashkov i K", 1999.
3. Dobrovolsky G.V. *Soil, city, ecology*. Moscow: Foundation for Economic Literacy, 2007.

4. Doskeyeva G.Z., Rakhimbekova A.E., Zhamkeyeva M.K., Saudambekova I.D., Bekova R.Z. Health care financing system in the republic of Kazakhstan. *European Research Studies Journal*, 2018, vol. 21(2), pp. 282-288. <https://doi:10.35808/ersj/1002>
5. Dudukalov E.V., Terenina I.V., Perova M.V., Ushakov D. Industry 4.0 Readiness: The Impact of Digital Transformation on Supply Chain Performance. *E3S Web of Conferences*, 2021, vol. 244, 08020. <https://doi:10.1051/e3sconf/202124408020>
6. Golubev G.N. *Vestnik MGU. Seriya 5: Geografiya*, 2008, no. 4, pp. 61–70.
7. Gorshkov S.P. *Kontseptual'nye osnovy geoekologii* [Conceptual Foundations of Geoecology]. Smolensk: Publishing House of the Smolensk University for the Humanities, 2008.
8. Ivanova P., Ivanov S., Mikhailov A., Shishlyannikov D. Extraction mechanization of soft soils. *Journal of Applied Engineering Science*, 2021, vol. 19(3). <https://doi:10.5937/jaes0-31904>
9. Ivanov A.V., Strizhenok A.V. Ecological and economic justification of the possibility of utilization of weathering gases from gas condensate enterprises on the basis of heat generation. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2019, vol. 14(22), pp. 3877-3885.
10. Kashirskaya L.V., Sitnov A.A., Davlatzoda D.A., Vorozheykina T.M. Knowledge audit as a key tool for business research in the information society. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 2020, vol. 7(3), pp. 2299-2319. [https://doi:10.9770/jesi.2020.7.3\(56\)](https://doi:10.9770/jesi.2020.7.3(56))
11. Klindukhova N.A. *Geoekologicheskie issledovaniya Kurskoy oblasti* [Geoecological research of the Kursk region]. Kursk: KGU, 2005, pp. 49–57.
12. Klindukhova L.A. *Molodezh' i XXI vek* [Youth and XXI century]. Kursk: KGU, 2008, pp. 66–67.
13. Kolupaev A.A., Voronkova O.Y., Vakhrushev I.B., Adamenk, A.A., Solodkin V.S., Alekhina N.A. Corporate identity of lodging establishment as a factor of increasing tourism activity in the region. *Paper presented at the Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019: Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020*, 2019, pp. 7948-7956.
14. Kravchenko N.A. *Uchet prirodnykh i antropogennykh pokazateley pri kadastrovoy otsenke zemel' malykh gorodov Kurskoy oblasti* [Accounting for natural and anthropogenic indicators in the cadastral valuation of land in small towns of the Kursk region]. Moscow, 2006.
15. Kochurov B.I. *Geografiya ekologicheskikh situatsiy (ekodiagnostika territoriy)* [Geography of ecological situations (ecological diagnostics of territories)]. M.: IG RAN, 2008, 156 p.

16. Kosinova N.A. *Sbornik statey «Kraevedcheskie zapiski»*. Kursk, 2016, pp. 19-23.
17. Kosinova N.A., Lomova L.A. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologiya*, 2016, no. 1 (18), pp. 42-49.
18. Kosinova N.A., Lomova L.A. *Kadastrrovaya otsenka gorodskikh zemel'. Sovremennyye landshaftnyye issledovaniya v kontekste optimizatsii prirodopol'zovaniya* [Cadastral valuation of urban lands. Modern landscape research in the context of nature management optimization]. Kursk, 2015, pp. 16-25.
19. Kuzmin P.A., Bukharina I.L., Kuzmina A.M. Features of operation of the plant pigment system in a man-made environment. *International Journal of Pharmacy and Technology*, 2016, vol. 8(2), pp. 14582-14591.
20. Likhachev E.A., Timofeev D.A., Zhidkov M.P. et al. *Gorod – Ekosistema* [City - Ecosystem]. Moscow: IGRAN, 2006.
21. Lomova L.A., Epifancev K.V., Zhminko N.S., Romanova T.I., Bolshanik P.V., Goneev I.A. Use of underground water resources in regions with intensive human management activities. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 2018, vol. 9(12), pp. 595-607.
22. Lomova L.A., Voronkova O.Y., Aleshko R.A., Goneev I.A., Sochnikova I.Y., Avdeev Y. Ecological and economic consequences of water pollution. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 2019, vol. 9(1), pp. 7056-7062.
23. Lomova, L.A., Voronkova O. Yu., Alekhina N.A., Frolova I.I., Zatsarinnyaya E.I., Sycheva I.N. Territorial environmental and economic assessments in urbanized industrial areas. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 2020, vol. 29(59), pp. 5409-5419.
24. Lukanin V.N., Trofimenko Yu.V. *Promyshlennaya i transportnaya ekologiya* [Industrial and transport ecology]. Moscow: Vysshaya shkola, 2011, 273 p.
25. Maslov N.V. *Ekologiya gradostroitel'stva: Uchebnik. rukovodstvo po sborke* [Ecology of urban planning: Textbook. assembly guide]. Vysshaya shkola, 2002, 284 p.
26. *Osnovy geoekologii* [Fundamentals of Geoecology] / ed. V. G. Morachevsky. St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg. un-ta, 2005, 352 p.
27. Movchan I.B., Yakovleva A.A. Refined assessment of seismic microzonation with a priori data optimization. *Journal of Mining Institute*, 2019, vol. 236, pp. 133-141. <https://doi:10.31897/PMI.2019.2.133>
28. Movchan I.B., Shaygallyamova Z.I., Yakovleva A.A., Movchan A.B. Increasing resolution of seismic hazard mapping on the example of the north of middle Russian highland. *Applied Sciences (Switzerland)*, 2021, vol. 11(11). <https://doi:10.3390/app11115298>
29. Nikulin A.N., Dolzhikov I.S., Klimova I.V., Smirnov Y.G. Assessment of the effectiveness and efficiency of the occupational health and safety management

- system at a mining enterprise. *Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti*, 2021, vol. 2021(1), pp. 66-72. <https://doi:10.24000/0409-2961-2021-1-66-72>
30. Puryaev A., Puryaev A. Evaluating the Effectiveness of Projects of Global and National Economic Significance Level. In *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 2020, vol. 172, pp. 317-331. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2244-4_29
 31. Rahman P.A. Analysis of stationary availability factor of two-level backbone computer networks with arbitrary topology. *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, vol. 1015(2). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1015/2/022016>
 32. Sedov S.A., Valiev I.N., Kuzmin P.A., Sharifullina A.M. On the issue of environment-oriented measures to eliminate the causes and reduce the effects of technogenic impact on the territory. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 2014, vol. 11, pp. 169-172. <https://doi:10.13005/bbra/1456>
 33. Smol'yaninov V.M., Grebtsov S.N., Letin A.L. *Vestnik Voronezhskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva*, 2001, vol. 2(2). Voronezh: VGPU.
 34. Smol'yaninov V.M., Rusinov P.S., Pankov D.N. *Kompleksnaya otsenka antropogenogo vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu pri obosnovanii prirodookhrannyykh meropriyatiy* [Comprehensive assessment of anthropogenic impact on the environment in the justification of environmental measures]. Voronezh: VGU, 1996.
 35. Smirnova N.V., Rudenko G.V. Tendencies, problems and prospects of innovative technologies implementation by Russian oil companies. *Journal of Industrial Pollution Control*, 2017, vol. 33(1), pp. 937-943.
 36. Vasilyeva N.V., Boikov A.V., Erokhina O.O., Trifonov A.Y. Automated digitization of radial charts. *Journal of Mining Institute*, 2021a, vol. 247(1), pp. 82-87. <https://doi:10.31897/PMI.2021.1.9>
 37. Vasilyeva N., Fedorova E., Kolesnikov A. Big data as a tool for building a predictive model of mill roll wear. *Symmetry*, 2021b, vol. 13(5). <https://doi:10.3390/sym13050859>
 38. Vasilevskaya L.A., Kosinova N.A. Accounting natural and anthropogenic factors when estimating urban lands. *News of the South-West State University. Series: Engineering and technology*, 2015a, vol. 2(15), pp. 29-36.
 39. Vasilevskaya L.A., Kosinova N.A. Geoecological estimation of land in small cities of the Kursk region. In the collection: *Scientific works of the Kursk branch of ROIA*. Kursk, 2015b, pp. 85-92.
 40. Vasilevskaya L.A., Kosinova N.A. The specifics of the development of small towns. *News of Southwestern State University. Series: Technics and Technologies*, 2014, no. 1, pp. 99-105.
 41. Voronkova O.Y., Klochko E.N., Vakhrushev I.B., Sergin A.A., Karpenko E.Z., Tavbulatova Z.K. Land resource management in the agro-industrial sector of

- Russia. *International Journal of Pharmaceutical Research*, 2020, vol. 12, pp. 2087-2093. <https://doi:10.31838/ijpr/2020.SP1.306>
42. Voronkova O.Y., Akhmedkhanova S.T., Nikiforov S.A., Tolmachev A.V., Vakhrushev I.B., Sergin A.A. Tourism market relies heavily on environmental and natural factors. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 2021, vol. 19(2), pp. 365-374. <https://doi:10.22124/cjes.2021.4753>
43. Zamyatin E., Voytyuk I., Zamyatina E. Increasing the energy efficiency of an enterprise by point compensating of power quality distortions. *Paper presented at the E3S Web of Conferences*, 2019, vol. 140. <https://doi:10.1051/e3s-conf/201914004010>
44. Zaripova R.S., Ahmetova M.H., Kuzmin P.A. Ecological and biological features of quickbeam (*sorbus aucuparia* L.) in the context of an urbanized environment. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, 2019, vol. 11(5 Special Issue), pp. 1731-1734.
45. Zhamkeeva M. World experience in customs tariff regulation of external economic activities. *Actual Problems of Economics*, 2012, vol. 135(9), pp. 303-310.

Список литературы

1. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия. М.: Логос. 2000. 627 с.
2. Арустамов, Э.А. Управление природой. Москва: Дом «Дашков и К», 1999.
3. Dobrovolsky G.V. Soil, city, ecology. Moscow: Foundation for Economic Literacy, 2007.
4. Doskeyeva G.Z., Rakhimbekova A.E., Zhamkeyeva M. K., Saudambekova I.D., Bekova R.Z. Health care financing system in the republic of Kazakhstan // *European Research Studies Journal*, 2018, vol. 21(2), pp. 282-288. <https://doi:10.35808/ersj/1002>
5. Dudukalov E.V., Terenina I.V., Perova M.V., Ushakov D. Industry 4.0 Readiness: The Impact of Digital Transformation on Supply Chain Performance // *E3S Web of Conferences*, 2021, vol. 244, 08020. <https://doi:10.1051/e3s-conf/202124408020>
6. Голубев Г.Н. Геоэкология и глобальные изменения // *Вестник МГУ. Серия 5: География*. 2008. №4. С. 61–70.
7. Горшков С.П. Концептуальные основы геоэкологии: Учебное пособие. Смоленск: Изд-во Смоленского гуманитарного университета, 2008.
8. Ivanova P., Ivanov S., Mikhailov A., Shishlyannikov D. Extraction mechanization of soft soils // *Journal of Applied Engineering Science*, 2021, vol. 19(3). <https://doi:10.5937/jaes0-31904>
9. Ivanov A.V., Strizhenok A.V. Ecological and economic justification of the possibility of utilization of weathering gases from gas condensate enterprises on the

- basis of heat generation // *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2019, vol. 14(22), pp. 3877-3885.
10. Kashirskaya L.V., Sitnov A.A., Davlatzoda D.A., Vorozheykina T.M. Knowledge audit as a key tool for business research in the information society // *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 2020, vol. 7(3), pp. 2299-2319. [https://doi:10.9770/jesi.2020.7.3\(56\)](https://doi:10.9770/jesi.2020.7.3(56))
 11. Клиндухова Н.А. Влияние природных и техногенных факторов на распределение тяжелых металлов в малых городах // *Геоэкологические исследования Курской области*. Курск: КГУ, 2005. С. 49–57.
 12. Клиндухова Л.А. Гидрохимический режим подземных вод Михайловского горнопромышленного р-на // *Молодежь и XXI век*. Курск: КГУ, 2008. С. 66–67.
 13. Kolupaev A.A., Voronkova O.Y., Vakhrushev I.B., Adamenk, A.A., Solodkin V.S., Alekhina N.A. Corporate identity of lodging establishment as a factor of increasing tourism activity in the region // Paper presented at the Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019: Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020, 2019, pp. 7948-7956.
 14. Кравченко Н.А. Учет природных и антропогенных показателей при кадастровой оценке земель малых городов Курской области: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Москва, 2006.
 15. Кочуров Б.И. География экологических ситуаций (экодиагностика территорий). М.: ИГ РАН, 2008. 156 с.
 16. Косинова Н.А. Влияние антропогенных факторов на состояние земель малых городов // Сборник статей «Краеведческие записки». Курск, 2016. С. 19-23.
 17. Косинова Н.А., Ломова Л.А. Оценка территории малых городов в системе земельного кадастра // *Известия Юго-Западного государственного университета*. Серия: Техника и технология. 2016. № 1 (18). С. 42-49.
 18. Косинова Н.А., Ломова Л.А. Кадастровая оценка городских земель. Современные ландшафтные исследования в контексте оптимизации природопользования. Курск, 2015. С. 16-25.
 19. Kuzmin P.A., Bukharina I.L., Kuzmina A.M. Features of operation of the plant pigment system in a man-made environment // *International Journal of Pharmacy and Technology*, 2016, vol. 8(2), pp. 14582-14591.
 20. Лихачев Е.А., Тимофеев Д.А., Жидков М.П. и другие. Город – Экосистема. Москва: ИГРАН, 2006.
 21. Lomova L.A., Epifancev K.V., Zhminko N.S., Romanova T.I., Bolshanik P.V., Goneev I.A. Use of underground water resources in regions with intensive human management activities // *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 2018, vol. 9(12), pp. 595-607.

22. Lomova L.A., Voronkova O.Y., Aleshko R.A., Goneev I.A., Sochnikova I.Y., Avdeev Y. Ecological and economic consequences of water pollution // *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 2019, vol. 9(1), pp. 7056-7062.
23. Lomova, L.A., Voronkova O.Yu., Alekhina N.A., Frolova I.I., Zatsarinnaya E.I., Sycheva I.N. Territorial environmental and economic assessments in urbanized industrial areas // *International Journal of Advanced Science and Technology*, 2020, vol. 29(59), pp. 5409-5419.
24. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Промышленная и транспортная экология. Москва: Высшая школа, 2011. 273 с.
25. Маслов Н.В. Экология градостроительства: Учебник. руководство по сборке. Высшая школа, 2002. 284 с.
26. Основы геоэкологии: Учебник/Под ред. В. Г. Морачевского. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2005. 352 с.
27. Movchan I.B., Yakovleva A.A. Refined assessment of seismic microzonation with a priori data optimization // *Journal of Mining Institute*, 2019, vol. 236, pp. 133-141. <https://doi:10.31897/PMI.2019.2.133>
28. Movchan I.B., Shaygallyamova Z.I., Yakovleva A.A., Movchan A.B. Increasing resolution of seismic hazard mapping on the example of the north of middle Russian highland // *Applied Sciences (Switzerland)*, 2021, vol. 11(11). <https://doi:10.3390/app11115298>
29. Nikulin A.N., Dolzhikov I.S., Klimova I.V., Smirnov Y.G. Assessment of the effectiveness and efficiency of the occupational health and safety management system at a mining enterprise // *Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti*, 2021, vol. 2021(1), pp. 66-72. <https://doi:10.24000/0409-2961-2021-1-66-72>
30. Puryaev A., Puryaev A. Evaluating the Effectiveness of Projects of Global and National Economic Significance Level // *In Smart Innovation, Systems and Technologies*, 2020, vol. 172, pp. 317–331. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2244-4_29
31. Rahman P.A. Analysis of stationary availability factor of two-level backbone computer networks with arbitrary topology // *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, vol. 1015(2). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1015/2/022016>
32. Sedov S.A., Valiev I.N., Kuzmin P.A., Sharifullina A.M. On the issue of environment-oriented measures to eliminate the causes and reduce the effects of technogenic impact on the territory // *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 2014, vol. 11, pp. 169-172. <https://doi:10.13005/bbra/1456>
33. Смольянинов В.М., Гребцов С.Н., Летин А.Л. Методы выбора экологически безопасного варианта эксплуатации крупного водозабора подземных вод //

- Вестник Воронежского отделения Русского географического общества. 2001. Том 2. Вып. 2. Воронеж: ВГПУ.
34. Смольянинов В.М., Русинов П.С., Панков Д.Н. Комплексная оценка антропогенного воздействия на окружающую среду при обосновании природоохранных мероприятий. Воронеж: ВГАУ, 1996.
 35. Smirnova N.V., Rudenko G.V. Tendencies, problems and prospects of innovative technologies implementation by Russian oil companies // *Journal of Industrial Pollution Control*, 2017, vol. 33(1), pp. 937-943.
 36. Vasilyeva N.V., Boikov A.V., Erokhina O.O., Trifonov A.Y. Automated digitization of radial charts // *Journal of Mining Institute*, 2021a, vol. 247(1), pp. 82-87. <https://doi:10.31897/PMI.2021.1.9>
 37. Vasilyeva N., Fedorova E., Kolesnikov A. Big data as a tool for building a predictive model of mill roll wear // *Symmetry*, 2021b, vol. 13(5). <https://doi:10.3390/sym13050859>
 38. Vasilevskaya L.A., Kosinova N.A. Accounting natural and anthropogenic factors when estimating urban lands // *News of the South-West State University. Series: Engineering and technology*, 2015a, vol. 2(15), pp. 29-36.
 39. Vasilevskaya L.A., Kosinova N.A. Geoecological estimation of land in small cities of the Kursk region // In the collection: *Scientific works of the Kursk branch of ROIA. Kursk*, 2015b, pp. 85-92.
 40. Vasilevskaya L.A., Kosinova N.A. The specifics of the development of small towns // *News of Southwestern State University. Series: Technics and Technologies*, 2014, no. 1, pp. 99-105.
 41. Voronkova O.Y., Klochko E.N., Vakhrushev I.B., Sergin A.A., Karpenko E.Z., Tavbulatova Z.K. Land resource management in the agro-industrial sector of Russia // *International Journal of Pharmaceutical Research*, 2020, vol. 12, pp. 2087-2093. <https://doi:10.31838/ijpr/2020.SP1.306>
 42. Voronkova O.Y., Akhmedkhanova S.T., Nikiforov S.A., Tolmachev A.V., Vakhrushev I.B., Sergin A.A. Tourism market relies heavily on environmental and natural factors // *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 2021, vol. 19(2), pp. 365-374. <https://doi:10.22124/cjes.2021.4753>
 43. Zamyatin E., Voytyuk I., Zamyatina E. Increasing the energy efficiency of an enterprise by point compensating of power quality distortions // Paper presented at the *E3S Web of Conferences*, 2019, vol. 140. <https://doi:10.1051/e3sconf/201914004010>
 44. Zaripova R.S., Ahmetova M.H., Kuzmin P.A. Ecological and biological features of quickbeam (*sorbus aucuparia L.*) in the context of an urbanized envi-

ronment // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems, 2019, vol. 11(5 Special Issue), pp. 1731-1734.

45. Zhamkeeva M. World experience in customs tariff regulation of external economic activities // Actual Problems of Economics, 2012, vol. 135(9), pp. 303-310.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Ломова Людмила Александровна, кандидат географических наук, доцент кафедры русского языка и общественных дисциплин для иностранных граждан

Юго-Западный государственный университет

50 лет Октября 94, г. Курск, 305040, Российская Федерация

lomova-la@yandex.ru

Истомина Ольга Борисовна, д-р филос. наук, зав. кафедрой социально-экономических дисциплин

Иркутский государственный университет

ул. Карла Маркса, 1, г. Иркутск, 664003, Российская Федерация

olgaistomina@mail.ru

Дооранов Алмазбек

Кыргызский национальный университет имени Жусуна Баласагына

ул. Фрунзе, 547, г. Бишкек, 720033, Кыргызская Республика

a_dooranov@list.ru

Алешко Роман Александрович, кандидат технических наук, профессор кафедры информационных систем и технологий

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация

r.aleshko@gmail.com

Цугленок Ольга Михайловна, старший преподаватель, кафедра правовых и социально-экономических дисциплин

ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет, Ачинский филиал

ул. Тарутинская, 4, г. Ачинск, 662159, Российская Федерация

cugolya@list.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Lyudmila A. Lomova, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Russian Language and Social Disciplines for Foreign Citizens

Southwestern State University

94, 50 years of October Str., Kursk, 305040, Russian Federation

lomova-la@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0000-3044>

Olga B. Istomina, Doctor of Philosophy, Professor, Head of the Department of Socio-Economic Disciplines

Irkutsk State University

1, Karl Marx Str., Irkutsk, 664003, Russian Federation

olgaistomina@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4060-6106>

Almazbek Dooranov

Kyrgyz National University named after Zhusup Balasagyn

547, Frunze Str., Bishkek, Kyrgyz Republic

a_dooranov@list.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2198-4956>

Roman A. Aleshko, Cand. Sc. in Engineering, professor of the Department of Information Systems and Technologies

Northern (Arctic) Federal University

17, Northern Dvina emb., Arkhangelsk, 163002, Russian Federation

r.aleshko@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1235-8937>

Olga M. Tsuglenok, Senior Lecturer, department of Legal and Socio-Economic Disciplines

Krasnoyarsk State Agrarian University, Achinsk branch

4, Tarutinskaya Str., Achinsk, 662159, Russian Federation

cugolya@list.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3544-1431>

Поступила 21.09.2022

После рецензирования 10.10.2022

Принята 26.10.2022

Received 21.09.2022

Revised 10.10.2022

Accepted 26.10.2022

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-474-493

УДК 614.256 + 34.04



Научная статья | Организация здравоохранения

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРАВОВЫХ ОСНОВ ПРОВЕДЕНИЯ ВОЕННО-ВРАЧЕБНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ В ВОЙСКАХ НАЦИОНАЛЬНОЙ ГВАРДИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

П.Ю. Наумов, И.В. Холиков

Состояние вопроса. В настоящее время в силу политических, военно-технических, социально-экономических и организационных факторов вопросы организации медицинского обеспечения военнослужащих (сотрудников) и членов их семей является актуальной задачей для ученых и практиков. Важным направлением предоставления социальных гарантий в области медицинского обеспечения является проведением военно-врачебной экспертизы военнослужащим и членам их семей для разрешения вопросов определения категории годности к военной службе, установления причинной связи, решения вопросов возможности проживания в отдельных местностях и разрешения иных вопросов.

Материалы и методы исследования. Теоретико-методологической основой исследования выступила опора авторов на системный, сравнительно-правовой и комплексный подходы. Для достижения цели и решения задач исследования авторами применен комплекс современных методов познания явлений социально-правовой реальности: системный, междисциплинарный и комплексный анализ и синтез его результатов, концептуализация, абстрагирование, аналогия, дедуктивный и сравнительно-правовой методы и теоретические обобщения.

Результаты и выводы. В статье рассматривается содержание правовых основ осуществления в войсках национальной гвардии Российской Федерации (далее – «войска национальной гвардии») военно-врачебной экспертизы. Приводится характеристика конституционных норм и норм федерального законодательства в сфере военно-врачебной экспертизы, рассматриваются характеризующие требования нормативных правовых актов, которые регулируют данные правоотношения. Указываются на отдельные юридико-технические неточности, которые можно совершенствовать, путем приведения

ведомственных документов в соответствии с актами высшей силы. Результаты исследования можно использовать при написании научных работ в области медицинского и военного права, а также в педагогическом процессе при реализации образовательных программ по организации здравоохранения и в области юриспруденции.

Ключевые слова: медицинская помощь; медицинское обеспечение; медицинская экспертиза; военно-врачебная экспертиза; медицинское обследование; медицинское освидетельствование

Для цитирования. Наумов П.Ю., Холиков И.В. Характеристика правовых основ проведения военно-врачебной экспертизы в войсках национальной гвардии Российской Федерации // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №1. С. 474-493. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-474-493

Original article | Health Care Organization

CHARACTERISTICS OF THE LEGAL FOUNDATIONS OF THE MILITARY MEDICAL EXAMINATION IN THE TROOPS OF THE NATIONAL GUARD OF THE RUSSIAN FEDERATION

P.Yu. Naumov, I.V. Kholikov

Background. At present, due to political, military-technical, socio-economic and organizational factors, the organization of medical support for military personnel (employees) and their families is an urgent task for scientists and practitioners. An important direction in the provision of social guarantees in the field of medical support is the conduct of a military medical examination of military personnel and members of their families to resolve issues of determining the category of fitness for military service, establishing a causal relationship, resolving issues of the possibility of living in certain areas and resolving other issues.

Materials and research methods. The theoretical and methodological basis of the study was the authors' reliance on systematic, comparative legal and integrated approaches. To achieve the goal and solve the problems of the study, the authors used a set of modern methods for cognizing the phenomena of social and legal reality: systemic, interdisciplinary and complex analysis and synthesis of its results, conceptualization, abstraction, analogy, deductive and comparative legal methods and theoretical generalizations.

Results and conclusions. *The article discusses the content of the legal framework for the implementation of military medical expertise in the troops of the National Guard of the Russian Federation. Characteristics of the constitutional norms and norms of federal legislation in the field of military medical expertise are given, characterizing the requirements of regulatory legal acts that regulate these legal relations are considered. Individual legal and technical inaccuracies are pointed out, which can be improved by bringing departmental documents in line with acts of a higher power. The results of the study can be used when writing scientific papers in the field of medical and military law, as well as in the pedagogical process in the implementation of educational programs in the organization of healthcare and in the field of jurisprudence.*

Keywords: *medical care; medical support; medical expertise; military medical expertise; medical examination; medical examination*

For citation. *Naumov P.Yu., Kholikov I.V. Characteristics of the Legal Foundations of the Military Medical Examination in the Troops of the National Guard of the Russian Federation. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 474-493. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-1-474-493*

Введение

В ситуации, когда противоречия нарастают не только в среде узких социальных групп, но и среди государств, общностей и субъектов международных отношений [32]. В этих условиях социальная консолидация возможна вокруг права как формального выражения идей и ценностей цивилизованного человечества [34]. Важной функцией и одним из ведущих принципов права является его конкретность и социальная ориентированность [13].

Право на охрану здоровья, получение всесторонней, своевременной, квалифицированной и качественной медицинской помощи является социальной ценностью, конституционным правом в Российской Федерации (далее - РФ), закрепляется и гарантируется статьей 41 Конституции РФ. Из этой нормы вытекают полномочия федерального законодателя по регулированию отношений в сфере охраны здоровья граждан, устанавливающие различные, научные, надзорные и иные вопросы в сфере общественного здравоохранения, в том числе в отношении категорий лиц, обладающих специальным правовым статусом (военнослужащих, судей, сотрудников различных органов).

Профессиональные военные (военнослужащие) в России относятся к особой категории лиц, чья профессиональная служебная деятельность

связана с постоянной подготовкой к вооруженной защите и вооруженной защите РФ, что требует и особой системы социального обеспечения и эффективных мер по поддержанию и восстановлению здоровья и защиты от опасных факторов службы.

Забота государства о здоровье военнослужащих и компенсации вреда, причиненному их здоровью в ходе служебной деятельности на законодательном уровне проявляется в форме издания нормативных актов различного уровня в своей системной совокупности, позволяющей реализовать право на медицинское обеспечение и медицинскую помощь. Нормами, регулирующими охрану здоровья граждан (статья 58 Федерального закона от 21 ноября 2011 г. № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской РФ») установлено, что проводятся следующие виды медицинских экспертиз: 1) экспертиза временной нетрудоспособности; 2) медико-социальная экспертиза; 3) военно-врачебная экспертиза; 4) судебно-медицинская и судебно-психиатрическая экспертизы; 5) экспертиза профессиональной пригодности и экспертиза связи заболевания с профессией; 6) экспертиза качества медицинской помощи.

В рамках решения задач медицинского обеспечения и охраны здоровья, а также определения категории годности к военной службе, службе по военно-учетной специальности или причинной связи увечий (заболеваний) военнослужащих проводится такой вид медицинских экспертиз как военно-врачебная экспертиза, проводимая в особом, законодательно определенном порядке.

Во исполнение части 2 статьи 61 ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в РФ» постановлением Правительства РФ от 4 июля 2013 г. № 565 «Об утверждении Положения о военно-врачебной экспертизе» утверждено Положение о военно-врачебной экспертизе определяющее основные аспекты ее осуществления, порядок проведения медицинского обследования и медицинского освидетельствования, проведения её в различных случаях, и с различными категориями федеральных государственных служащих и членов их семей, а также иные вопросы.

Известно, что медицинская деятельность, наряду с иными отдельными видами деятельности, подлежит особой процедуре государственной проверки и регистрации – лицензированию [28]. Стоит заметить, что поскольку проведение военно-врачебной экспертизы входит в состав медицинской деятельности, то ее осуществление подлежит лицензированию в соответствии с ФЗ от 04.05.2011 № 99-ФЗ «О лицензировании отдельных видов деятельности». Также военно-врачебная экспертиза входит в

перечень работ (услуг), составляющих медицинскую деятельность в соответствии с постановлением Правительства РФ от 01.06.2021 № 852 «О лицензировании медицинской деятельности...».

Материалы и методы исследования

Теоретико-методологической основой исследования выступила опора авторов на системный, сравнительно-правовой и комплексный подходы. Для достижения цели и решения задач исследования авторами применен комплекс современных методов познания явлений социально-правовой реальности: системный, междисциплинарный и комплексный анализ и синтез его результатов, концептуализация, абстрагирование, аналогия, дедуктивный и сравнительно-правовой методы и теоретические обобщения.

Для обоснования настоящего исследования использованы положения научных работ в области правовых основ деятельности войск национальной гвардии и выполнения ими возложенных на них задач, что являлось предметом научного анализа и исследовательских разработок [2; 3; 16; 17; 29; 33].

Актуальные правовые и социальные характеристики оказания военнослужащим медицинской помощи, их медицинского обеспечения и осуществления в отношении них военно-врачебной экспертизы, ранее были предметом рассмотрения научных исследований А.В. Андреева [1], Е.С. Бабайцевой [4; 7], В.М. Большаковой [8-12], И.В. Бухтиярова [15; 37], В.С. Вовкодава [31], А.И. Землина [26; 38], В.В. Калашникова [18], Н.В. Кичигина [19], М.В. Кленова [20], В.М. Корякина [21], А.В. Кудашкина [22], А.А. Мохова [23], И.А. Мурашкина [24], П.Ю. Наумова [25], Н.С. Новикова [27], С.С. Харитонова [30], И.В. Холикова [35; 36], Н.Н. Черногора [39] и др.

Однако теоретическое обобщение и концептуализация сущностных характеристик правовых основ проведения военно-врачебной экспертизы в войсках национальной гвардии имеет эвристический и практический смысл.

Основная часть

Возвращаясь к познанию федерального законодательства, содержащего правовые основы проведения военно-врачебной экспертизы в войсках национальной гвардии в отношении военнослужащих, граждан уволенных с военной службы и членов их семей (лиц находящихся на их иждивении), укажем, что ими помимо уже указанных норм являются ФЗ от 31 мая 1996 г. № 61-ФЗ «Об обороне» (статья 17.1), ФЗ от 21 ноября 2013 г. № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в РФ» (статьи 25, 58, 61), ФЗ от 27 мая 1998 г. № 76-ФЗ «О статусе военнослужащих» (статья 16), ФЗ от 28

марта 1998 г. № 53-ФЗ «О воинской обязанности и военной службе» (статья 5.1), ФЗ от 3 июля 2016 г. № 226-ФЗ «О войсках национальной гвардии РФ» (статья 28), Закон РФ от 2 июля 1992 г. № 3185-1 «О психиатрической помощи и гарантиях прав граждан при ее оказании» (статьи 15 и 23).

В отношении сотрудников войск национальной гвардии, лиц уволенных со службы в войсках национальной гвардии и членов их семей (лиц находящихся на их иждивении) правовыми основами военно-врачебной экспертизы выступают: статья 28 ФЗ от 3 июля 2016 г. № 226-ФЗ «О войсках национальной гвардии РФ»; статья 44 ФЗ от 3 июля 2016 г. № 227-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ с принятием ФЗ «О войсках национальной гвардии РФ»; статья 67 ФЗ от 30 ноября 2011 г. № 342-ФЗ «О службе в органах внутренних дел РФ и внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ»; статья 11 ФЗ от 19 июля 2011 г. № 247-ФЗ «О социальных гарантиях сотрудников органов внутренних дел РФ и внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ».

Отдельно следует отметить, что проведение военно-врачебной экспертизы в отношении военнослужащих, сотрудников и иных лиц в войсках национальной гвардии регулирует часть 2 статьи 28 ФЗ от 3 июля 2016 г. № 226-ФЗ «О войсках национальной гвардии РФ» в порядке, определяемом Правительством РФ, за счет средств, предусмотренных в федеральном бюджете Росгвардии и МВД России на эти цели.

Положение о Росгвардии, утвержденное Указом Президента РФ от 30 сентября 2016 г. № 510 предоставляет указанному государственному органу право утверждать порядок организации направления на медицинское освидетельствование, требования к состоянию здоровья граждан, военнослужащих и сотрудников и устанавливает иные полномочия по правовому регулированию вопросов в области проведения в войсках национальной гвардии военно-врачебной экспертизы.

Отдельные вопросы и случаи, когда назначается, проводится и оформляется медицинское освидетельствование в рамках военно-врачебной экспертизы, а также какие права предоставляет военнослужащим вынесенное заключение военно-врачебной комиссии, приведены в Положении о порядке прохождения военной службы, утвержденного Указом Президента РФ от 16 сентября 1999 г. № 1237 (увольнение с военной службы, зачисление в распоряжение, назначение на воинские должности, перевод к новому месту военной службы, продление контракта о прохождении военной службы при достижении предельного возраста, медицинское освидетельствование при поступлении на военную службу).

Понятие медицинского обеспечения военнослужащих в Устав внутренней службы Вооруженных Сил РФ (утвержден Указом Президента от 10 ноября 2007 г. № 1945) внесено в 2021 году Указом Президента РФ от 1 февраля 2021 г. № 63. Данное определение включает в себя реализацию различных мероприятий и принятие определенных мер.

Медицинское обеспечение – комплекс мер (мероприятий) организационного и медицинского характера, осуществляемых уполномоченными должностными лицами (или организациями), направленных на профилактику заболеваний, восстановление или улучшение состояния здоровья, трудоспособности и качества жизни, а также удовлетворение потребностей в лекарственных препаратах. Структура медицинского обеспечения включает в себя нормативные правовые основы, процессуальный, функциональный и субъектный состав. Медицинское обеспечение включает в себя следующие мероприятия: организационные; управленческие; профилактические; санитарные; диагностические; лечебные; санаторно-курортные; оздоровительные и реабилитационные; материально-технические и т.д. [14].

Исходя из приведенных выше требований Федерального закона «Об основах охраны здоровья граждан в РФ» основополагающим правовым документом, регламентирующим проведение военно-врачебной экспертизы в отношении военнослужащих, иных категорий федеральных государственных служащих, а также других лиц является Положение о военно-врачебной экспертизе, утвержденного постановлением Правительства РФ от 4 июля 2013 г. № 565 «Об утверждении Положения о военно-врачебной экспертизе».

Также к таким документам может относиться и Положение о независимой военно-врачебной экспертизе, утвержденным постановлением Правительства РФ от 28 июля 2008 г. № 574, которое регулирует вопросы производства независимой военно-врачебной экспертизы, в случае несогласия гражданина (военнослужащего, сотрудника) с результатами медицинского освидетельствования в рамках работы призывной комиссии или военно-врачебной комиссии. Во исполнение данного постановления издан и приказ Росгвардии от 16.10.2019 № 349, регулирующий порядок производства военно-врачебной экспертизы по итогам проведения ее независимого варианта. Данный порядок предписывает и описывает процедуру направления заключения независимой военно-врачебной экспертизы в военно-врачебную комиссию, принявшую изначальное решение (заключение).

Во исполнение требований указанных федеральных законов, нормативных правовых актов Президента РФ и Правительства РФ на ведом-

ственном уровне, Росгвардией принят ряд нормативных правовых актов регламентирующих отдельные вопросы проведения военно-врачебной экспертизы, определения персонально-должностного состава военно-врачебных комиссий, документооборота в данной сфере правоотношений, а также иные (иногда отдельные) вопросы, связанные с осуществлением военно-врачебной экспертизы в отношении военнослужащих и сотрудников.

К таким нормативным правовым актам относятся следующие приказы Росгвардии: от 02.10.2018 № 444, регулирующий порядок и особенности организации и оказания медицинской помощи в ведомственных организациях; от 24.12.2021 № 476, определяющий порядок направления на медицинское освидетельствование военно-врачебной комиссией; от 02.04.2018 № 112, утверждающий требования к состоянию здоровья сотрудников и порядок их обследования и освидетельствования; от 02.04.2018 № 113, посвященный применению показателя предназначения для распределения по воинским должностям и должностям; от 20.05.2019 № 166, устанавливающий формы документации для деятельности военно-врачебных комиссий; от 21.12.2020 № 502 определяющий состав военно-врачебных комиссий, осуществляющих освидетельствование военнослужащих и граждан при военных сборах; от 10.10.2016 № 293 об утверждении Устава Центра военно-врачебной экспертизы войск национальной гвардии; от 23.04.2021 № 142 посвященный прохождению медицинских осмотров и диспансеризации; от 14.12.2020 № 495, регулирующий порядок освобождения военнослужащих, сотрудников от исполнения обязанностей в связи с заболеванием (травмами, отравлениями); от 15.05.2017 № 139, который устанавливает правила отбора для поступления на военную службу по контракту в войска национальной гвардии; от 19.04.2017 № 118, регулирующий общий порядок выдачи справки о травме, ее форму и правила заполнения; от 23.03.2020 № 75, которым утверждено положение о Департаменте медицинского обеспечения Росгвардии. Также к ведомственным правовым актам, частично регулирующим вопросы осуществления военно-врачебной экспертизы можно отнести и Уставы медицинских организаций войск национальной гвардии.

Стоит отметить, что головным учреждением в области военно-врачебной экспертизы и ее проведения, уполномоченным на осуществление контроля за обоснованностью вынесенных заключений, полноты и соблюдения порядка обследования и освидетельствования является Центр военно-врачебной экспертизы войск национальной гвардии. На его базе создается и вышестоящая военно-врачебная экспертиза, в которую граж-

данин вправе обжаловать вынесенное в отношении него заключение, в порядке пункта 8 Положения о военно-врачебной экспертизе.

Отдельно обратим внимание, что в отношении лиц, проходящих службу в войсках национальной гвардии и имеющие специальное звание полиции ранее упомянутым приказом от 02.04.2018 № 112 установлены определенные графы (графа I – лица, поступающие на службу, графа II – сотрудники) и категории годности к службе в войсках национальной гвардии (А – годен к службе; Б – годен к службе с незначительными ограничениями; В – ограниченно годен к службе; Г – временно не годен к службе; Д – не годен к службе).

Стоит ли считать комплекс приведенных нормативных правовых актов, соответствующим критериям необходимости, достаточности и всесторонности? Все из них, безусловно, необходимы для практической деятельности медицинских организаций и созданных на их базе военно-врачебных комиссий. Вместе с тем, критериям достаточности и всесторонности существующая нормативная правовая база соответствует лишь отчасти, более того некоторые полномочия по изданию ведомственных приказов не реализованы, что уже стало предметом обсуждения и изучения в научной литературе [5; 6].

В нынешних кризисных социально-правовых и военных условиях важным вопросом в предоставлении социальных гарантий военнослужащим (сотрудникам) и членам их семей является деятельность военно-врачебных комиссий по проведению медицинского обследования и освидетельствования в рамках военно-врачебной экспертизы для определения возможности предоставления страховых выплат и иного возмещения вреда здоровью.

Порядок осуществления выплат по обязательному страхованию жизни и здоровья военнослужащих (сотрудников) войск национальной гвардии определен ФЗ от 28 марта 1998 г. № 52-ФЗ «Об обязательном государственном страховании жизни и здоровья военнослужащих и иных лиц...», постановлением Правительства РФ от 29 июля 1998 г. № 855, и приказом Росгвардии от 01.06.2019 № 193 (который в настоящее время отменен, новый приказ вступает в силу). Во исполнение норм указанных актов на военно-врачебные комиссии возложены обязанности по определению тяжести полученных увечий, ранений, травм и контузий в целях принятия решения об осуществлении выплат за наступившие страховые случаи.

Аналогичные обязанности возложены на военно-врачебные комиссии медицинских организаций войск национальной гвардии в целях осуществления единовременных выплат в соответствии с Указом Президента РФ от 5 марта 2022 г. № 98 «О дополнительных социальных гарантиях воен-

нослужащим, лицам, проходящим службу в войсках национальной гвардии, и членам их семей» и иными нормативными правовыми актами. Для получения выплат, определенных в данном Указе необходимо помимо остальных документов представить и справку военно-врачебной комиссии, полученную по итогам освидетельствования, и определяющую степень тяжести и сам факт полученной травмы.

Ввиду последних социально острых военно-политических событий, которые привели к многочисленным травмам среди личного состава важной задачей, возлагаемой на военно-врачебные является проведение медицинского освидетельствования в течение трех рабочих дней военнослужащих (сотрудников) находящихся на стационарном лечении, потерявших конечность и нуждающихся в протезировании. Это необходимо в целях предоставления социальных гарантий предусмотренных системой социальной защиты инвалидов.

Заключение

Анализируя проблемные аспекты в области правового регулирования проведения военно-врачебной экспертизы, следует отметить, что ранее в войсках национальной гвардии на основании подпункта «б» пункта 14 Указа Президента РФ от 5 апреля 2016 г. № 157 при проведении военно-врачебной экспертизы применялась Инструкция о порядке проведения военно-врачебной экспертизы и медицинского освидетельствования в органах внутренних дел РФ и внутренних войсках МВД РФ (утверждена приказом МВД России от 14 июля 2010 г. № 523).

Данная Инструкция регулировала порядок проведения военно-врачебной экспертизы и медицинского освидетельствования во внутренних войсках, порядок создания, права и обязанности военно-врачебных комиссий (врачебно-летних комиссий). Она утратила силу в связи с утверждением приказа МВД России от 2 апреля 2018 г. № 190 [5].

После отмены указанной Инструкции подобный документ, регламентирующий основные вопросы осуществления военно-врачебной экспертизы в войсках национальной гвардии принят (утвержден) не был. Хотя, например, в МВД России подобный документ издан в виде Инструкции по организации деятельности военно-врачебных комиссий в системе МВД России, утвержденной приказом МВД России от 14 июня 2018 г. № 370. Постановлением Правительства РФ от 19.05.2015 № 478 пункт 4 Положения о военно-врачебной экспертизе дополнен полномочием федеральным органам по определению форм документации (кроме унифицированных

форм), необходимые для проведения военно-врачебной экспертизы. Другим нормативным правовым актом – Постановлением Правительства РФ от 27.02.2020 № 207 указанный абзац изложен в новой редакции с заменой слова «определяются» на слова «правила их заполнения, а также порядок оформления заключений военно-врачебных комиссий (врачебно-летных комиссий) определяются соответствующими».

Во исполнение указанного предписания, в Минобороны России приказом от 18.01.2021 № 21 определены форм документации для деятельности военно-врачебных комиссий, и правила их заполнения, а также порядка оформления заключений военно-врачебных комиссий. В Росгвардии в настоящее время продолжает действовать приказ от 20 мая 2019 г. № 166, который определяет лишь формы документации необходимые для деятельности военно-врачебных комиссий, при этом правила их заполнения, а также порядок оформления заключений военно-врачебных комиссий пока не определены. На несоответствие указанного приказа нормам Положения о военно-врачебной экспертизе уже указывалось в научной литературе некоторыми авторами [5; 6], однако, в настоящее время новый руководящий документ в этой области до сих пор не разработан.

Также следует посетовать и на то, что в соответствии с Перечнем работ (услуг), составляющих медицинскую деятельность, в соответствии с постановлением Правительства РФ от 01.06.2021 № 852 «О лицензировании медицинской деятельности ...» помимо военно-врачебной экспертизы, входит «врачебно-летняя экспертиза». Однако такого вида медицинских экспертиз, как врачебно-летняя экспертиза, отечественное законодательство, регулирующее виды и порядок производства экспертиз и иные вопросы, а также само Положение о военно-врачебной комиссии не содержит.

Правовые основы проведения военно-врачебной экспертизы в войсках национальной гвардии, в отношении регулируемых отношений выполняют информационные, статусные, регуляционные, распорядительные, организационные, ориентационные, мировоззренческие и иные функции.

Список литературы

1. Андреев А.В. О необходимости медицинского освидетельствования военно-врачебными комиссиями кандидатов для обучения в общеобразовательных организациях со специальными наименованиями «президентское кадетское училище», «суворовское военное училище», «нахимовское военно-морское училище», «кадетский (морской кадетский) военный корпус» // Право в Вооруженных Силах – Военно-правовое обозрение. 2018. № 1 (246). С. 98–103.

2. Асеев А.Г. Установленные сферы деятельности Федеральной службы войск национальной гвардии Российской Федерации: комплексный подход к законодательным пробелам нормативного правового регулирования / А.Г. Асеев, В.М. Большакова, Л.Ю. Наумова [и др.] // Право в Вооруженных Силах – Военно-правовое обозрение. 2020. № 1 (270). С. 83–89.
3. Асеев А.Г. О полномочиях Федеральной службы войск национальной гвардии Российской Федерации по оказанию платных услуг: специфика нормативного правового регулирования / А.Г. Асеев, В.М. Большакова, О.В. Бабарыкин, П.Ю. Наумов // Право в Вооруженных Силах – Военно-правовое обозрение. 2020. № 6 (275). С. 52–57.
4. Бабайцева Е.С. Вопросы исполнения обязанностей военной службы при оказании военнослужащим медицинской помощи или прохождения ими медицинского освидетельствования / Е.С. Бабайцева, В.М. Большакова, П.Ю. Наумов // Военное право. 2021. № 5 (69). С. 78–86.
5. Бабайцева Е.С. О некоторых проблемных вопросах правового регулирования медицинского обеспечения военнослужащих (сотрудников) войск национальной гвардии Российской Федерации и способах его совершенствования // Военное право. 2023. № 1 (77). С. 93–101.
6. Бабайцева Е.С. Вопросы прохождения военно-врачебной экспертизы военнослужащими и сотрудниками войск национальной гвардии Российской Федерации (правовые аспекты) // Правовые аспекты правовой работы в войсках национальной гвардии (теория и практика): Сборник научных статей. III Международная научно-практическая конференция. К 210-летию войск национальной гвардии Российской Федерации и 5-летию создания Росгвардии, Санкт-Петербург, 07–08 октября 2021 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский военный ордена Жукова институт войск национальной гвардии Российской Федерации, 2021. С. 22–25.
7. Бабайцева Е.С., Холиков И.В. Некоторые вопросы правового регулирования медицинского обеспечения войск национальной гвардии Российской Федерации // Военное право. 2020. № 2 (60). С. 78–86.
8. Большакова В.М. Медицинское обеспечение как особый вид обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации, других войск, воинских формирований и органов: комментарий к статье 17.1 Федерального закона «Об обороне» от 31 мая 1996 года / В.М. Большакова, Г.В. Енгибарян, П.Ю. Наумов // Право в Вооруженных Силах – Военно-правовое обозрение. 2021. № 2 (283). С. 30–37.
9. Большакова В.М. Нормативное правовое регулирование обязанности медицинских организаций войск национальной гвардии Российской Федерации

- по информированию граждан о получении медицинской помощи в рамках программ государственных гарантий / В.М. Большакова, П.Ю. Наумов, Г.В. Енгибарян // *Право в Вооруженных Силах – Военно-правовое обозрение*. 2021. № 4 (285). С. 30–38.
10. Большакова В.М. Реализация мер правовой и социальной защиты военнослужащих, граждан, уволенных с военной службы, и членов их семей: к проблеме правового регулирования соответствующих обязанностей федеральных судов общей юрисдикции / В.М. Большакова, П.Ю. Наумов, Г.В. Енгибарян, А.А. Лаптев // *Право в Вооруженных Силах – Военно-правовое обозрение*. 2021. № 5 (286). С. 83–91.
 11. Большакова В.М. Доказательства и доказывание при осуществлении судебной защиты интересов военно-медицинских организаций / В.М. Большакова, П.Ю. Наумов, А.Н. Кононов // *Военное право*. 2021. № 2 (66). С. 210–217.
 12. Большакова В.М. Отдельные аспекты организации и осуществления судебной защиты интересов медицинских организаций федеральных органов исполнительной власти, где федеральным законом предусмотрена военная служба / В.М. Большакова, Г.В. Енгибарян, П.Ю. Наумов // *Вопросы российского и международного права*. 2020. Т. 10. № 12-1. С. 49–56.
 13. Большакова В.М., Холиков И.В. Теоретическое исследование системообразующих принципов организации судебной системы // *Вестник Пермского университета. Юридические науки*. 2022. № 58. С. 579–604. <https://doi.org/10.17072/1995-4190-2022-58-579-604>
 14. Большакова В.М., Холиков И.В., Наумов П.Ю. Медицинское обеспечение судебной системы Российской Федерации // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022. Т. 14. № 1. С. 103–127. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-1-103-127>
 15. Бухтияров И.В. Опыт концептуализации военных аспектов медицинского права (обсуждение главы 14 учебника «Медицинское право России», ответственный ред. А.А. Мохов, изд-во «Проспект», 2022, – материалы дискуссии) / И.В. Бухтияров, И.В. Холиков, В.М. Большакова, П.Ю. Наумов // *Медицина труда и промышленная экология*. 2023. Т. 63. № 1. С. 67–73. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-1-67-73>
 16. Землин А.И., Землина О.М. О некоторых аспектах реализации программно-целевого и проектного подходов к подготовке кадров в Вооруженных Силах Российской Федерации // *Вестник военного права*. 2019. № 4. С. 55–61.
 17. Землин А.И. О роли и неотложных задачах военно-правовой науки в современных условиях // *Вестник военного права*. 2016. № 1. С. 41–46.

18. Калашников В.В. Правовое регулирование случаев, когда военнослужащие считаются исполняющими обязанности военной службы, и взаимосвязь их материальной и дисциплинарной ответственности / В.М. Большакова, В.В. Калашников, П.Ю. Наумов, Р.В. Зелепукин // Право в Вооруженных Силах – Военно-правовое обозрение. 2021. № 11 (292). С. 37–42.
19. Кичигин Н.В. К вопросу правового регулирования деятельности органов безопасности на территории иностранного государства (на примере организации работы военно-врачебных комиссий) // Право в Вооруженных Силах – Военно-правовое обозрение. 2017. № 11 (244). С. 100–104.
20. Кленов М.В. Правовые и организационные вопросы контроля за состоянием здоровья работников и оказания медицинской помощи пассажирам на транспорте в России / М.В. Кленов, И.В. Холиков // Мир транспорта. 2019. Т. 17. № 3 (82). С. 180–191. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-3-180-191>
21. Корякин В.М. Государственная Дума уточнила некоторые вопросы, связанные с исполнением воинской обязанности // Право в Вооруженных Силах – Военно-правовое обозрение. 2018. № 3 (248). С. 2–4.
22. Кудашкин А.В., Шеншин В.М. Особенности организации взаимодействия органов внутренних дел МВД России, войск национальной гвардии и Вооруженных Сил Российской Федерации // Право в Вооруженных Силах – Военно-правовое обозрение. 2017. № 3 (236). С. 16–22.
23. Мохов А.А. Медицинское право России: Учебник / Т.В. Клименко, А.А. Мохов, А.В. Пекшев [и др.]; Отв. ред. А.А. Мохов; Московский государственный юридический университет имени О.Е. Кутафина (МГЮА). Москва: Изд-во «Проспект», 2021. 544 с.
24. Мурашкин И.А. Судебно-экспертные учреждения в Российской Федерации / И.А. Мурашкин, О.А. Ялов, А.Н. Савенков. Москва: Военный университет, 2003. 30 с.
25. Наумов П.Ю. Концептуальные аспекты производства медицинских экспертиз при обжаловании в судебном порядке заключений по итогам проведения военно-врачебной экспертизы / П.Ю. Наумов, В.М. Большакова, А.И. Землин, И.В. Холиков // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13. № 6. С. 283–306. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-283-306>
26. Наумов П.Ю., Землин А.И., Утюганов А.А. Актуальные вопросы трансформации норм права о заболеваниях, представляющих опасность для окружающих // Актуальные проблемы государства и права. 2022. Т. 6. № 4. С. 532–539. <https://doi.org/10.20310/2587-9340-2022-6-4-532-539>

27. Новиков Н.С., Наумов П.Ю., Утюганов А.А. Физическое и психическое здоровье военнослужащих как социально-правовая ценность // Актуальные проблемы государства и права. 2022. Т. 6. № 3. С. 450–458. <https://doi.org/10.20310/2587-9340-2022-6-3-450-458>
28. Огнерубов Н.А., Зелепукин Р.В., Большакова В.М. Профессиональные медицинские риски: условия правомерности в контексте действующего уголовного законодательства // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13. № 6. С. 266–282. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-266-282>
29. Савенков А.Н., Кудашкин А.В. Военное право: постановка проблемы и пути решения // Государство и право. 2021. № 4. С. 7–34.
30. Харитонов С.С. К вопросу обеспечения законности решений воинских должностных лиц в сфере прохождения военной службы в контексте правоприменительной деятельности // Право в Вооруженных Силах – Военно-правовое обозрение. 2019. № 6 (263). С. 18–24.
31. Холиков И.В. Законодательное обеспечение медицинского освидетельствования специалистов авиационного персонала государственной авиации / И.В. Холиков, В.С. Вовкодав // Право в Вооруженных Силах – Военно-правовое обозрение. 2019. № 7 (264), С. 38–44.
32. Холиков И.В., Милованович А., Наумов П.Ю. Динамика функционирования международного права в условиях трансформации современного миропорядка: постнеклассический подход // Журнал российского права. 2022. Т. 26. № 11. С. 132–148. <https://doi.org/10.12737/jrl.2022.122>
33. Холиков И.В. Федеральный государственный контроль (надзор) за соблюдением законодательства в области обеспечения безопасности объектов топливно-энергетического комплекса: новый этап регулирования и правоприменения / И.В. Холиков, П.Ю. Наумов, В.М. Большакова [и др.] // Уголь. 2022. № 10 (1159). С. 66–71. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022106671>
34. Холиков И.В. Ценности и смыслы главного судебного акта XX века: аксиологические концепты книги А.Н. Савенкова «Нюрнберг: Приговор во имя Мира» (Материалы дискуссии) / И.В. Холиков, В.М. Большакова, П.Ю. Наумов, Р.В. Зелепукин // Государство и право. 2022. № 10. С. 51–62. <https://doi.org/10.31857/S102694520021788-7>
35. Холиков И.В. Теоретико-правовая характеристика современных глобальных вызовов и угроз в сфере здравоохранения // Актуальные проблемы государства и права. 2022. Т. 6. № 4. С. 547–555. <https://doi.org/10.20310/2587-9340-2022-6-4-547-555>

36. Холиков И.В., Дамаскин О.В. Проблемные вопросы правовой регламентации врачебно-летней экспертизы в России // Представительная власть – XXI век: законодательство, комментарии, проблемы. 2018. № 3 (162). С. 10–13.
37. Bukhtiyarov I.V. Occupational health in Russia / I.V. Bukhtiyarov, N.B. Rubtsova, I.V. Kholikov // Occupational Medicine and Work Ability. 2018. No 3. P. 46–57.
38. Chernogor N.N. Impact of the spread of epidemics, pandemics and mass diseases on economic security of transport / N.N. Chernogor, A.I. Zemlin, I.V. Kholikov, I.A. Mamedova // E3S Web of Conferences, Blagoveshchensk, September 23–24, 2020. Blagoveshchensk, 2020, 05019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020305019>
39. Zemlin A. Problems of Ensuring Security of Transport Infrastructure Facilities / A. Zemlin, I. Kholikov, I. Mamedova, O. Zemlina // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vladivostok, October 06–09, 2020. Vladivostok, 2021, 042002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/4/042002>

References

1. Andreev A.V. *Pravo v Vooruzhennykh Silakh – Voенно-pravovoe obozrenie*, 2018, no. 1 (246), pp. 98–103.
2. Aseev A.G., Bol'shakova V.M., Naumova L.Yu. et al. *Pravo v Vooruzhennykh Silakh – Voенно-pravovoe obozrenie*, 2020, no. 1 (270), pp. 83–89.
3. Aseev A.G., Bol'shakova V.M., Babarykin O.V., Naumov P.Yu. *Pravo v Vooruzhennykh Silakh – Voенно-pravovoe obozrenie*, 2020, no. 6 (275), pp. 52–57.
4. Babaytseva E.S., Bol'shakova V.M., Naumov P.Yu. *Voенное право*, 2021, no. 5 (69), pp. 78–86.
5. Babaytseva E.S. *Voенное право*, 2023, no. 1 (77), pp. 93–101.
6. Babaytseva E.S. *Pravovye aspekty pravovoy raboty v voyskakh natsional'noy gvardii (teoriya i praktika): Sbornik nauchnykh statey. III Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya. K 210-letiyu voysk natsional'noy gvardii Rossiyskoy Federatsii i 5-letiyu sozdaniya Rosgvardii, Sankt Peterburg, 07–08 oktyabrya 2021 goda* [Legal aspects of legal work in the troops of the national guard (theory and practice): Collection of scientific articles. III International Scientific and Practical Conference. To the 210th anniversary of the troops of the National Guard of the Russian Federation and the 5th anniversary of the creation of the National Guard, St. Petersburg, October 07–08, 2021]. St. Petersburg: St. Petersburg Military Order of Zhukov Institute of the National Guard Troops of the Russian Federation, 2021, pp. 22–25.

7. Babaytseva E.S., Kholikov I.V. *Voennoe pravo*, 2020, no. 2 (60), pp. 78–86.
8. Bol'shakova V.M., Engibaryan G.V., Naumov P.Yu. *Pravo v Vooruzhennykh Silakh – Voennopravovoe obozrenie*, 2021, no. 2 (283), pp. 30–37.
9. Bol'shakova V.M., Naumov P.Yu., Engibaryan G.V. *Pravo v Vooruzhennykh Silakh – Voennopravovoe obozrenie*, 2021, no. 4 (285), pp. 30–38.
10. Bol'shakova V.M., Naumov P.Yu., Engibaryan G.V., Laptev A.A. *Pravo v Vooruzhennykh Silakh – Voennopravovoe obozrenie*, 2021, no. 5 (286), pp. 83–91.
11. Bol'shakova V.M., Naumov P.Yu., Kononov A.N. *Voennoe pravo*, 2021, no. 2 (66), pp. 210–217.
12. Bol'shakova V.M., Engibaryan G.V., Naumov P.Yu. *Voprosy rossiyskogo i mezhdunarodnogo prava*, 2020, vol. 10, no. 12-1, pp. 49–56.
13. Bol'shakova V.M., Kholikov I.V. *Vestnik Permskogo universiteta. Yuridicheskie nauki*, 2022, no. 58, pp. 579–604. <https://doi.org/10.17072/1995-4190-2022-58-579-604>
14. Bol'shakova V.M., Kholikov I.V., Naumov P.Yu. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 1, pp. 103–127. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-1-103-127>
15. Bukhtiyarov I.V., Kholikov I.V., Bol'shakova V.M., Naumov P.Yu. *Meditcina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2023, vol. 63, no. 1, pp. 67–73. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-1-67-73>
16. Zemlin A.I., Zemlina O.M. *Vestnik voennogo prava*, 2019, no. 4, pp. 55–61.
17. Zemlin A.I. *Vestnik voennogo prava*, 2016, no. 1, pp. 41–46.
18. Kalashnikov V.V., Kalashnikov V.V., Naumov P.Yu., Zelepukin R.V. *Pravo v Vooruzhennykh Silakh – Voennopravovoe obozrenie*, 2021, no. 11 (292), pp. 37–42.
19. Kichigin N.V. *Pravo v Vooruzhennykh Silakh – Voennopravovoe obozrenie*, 2017, no. 11 (244), pp. 100–104.
20. Klenov M.V., Kholikov I.V. *Mir transporta*, 2019, vol. 17, no. 3 (82), pp. 180–191. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-3-180-191>
21. Koryakin V.M. *Pravo v Vooruzhennykh Silakh – Voennopravovoe obozrenie*, 2018, no. 3 (248), pp. 2–4.
22. Kudashkin A.V., Shenshin V.M. *Pravo v Vooruzhennykh Silakh – Voennopravovoe obozrenie*, 2017, no. 3 (236), pp. 16–22.
23. Mokhov A.A. *Meditinskoe pravo Rossii [Russian Medical Law]* / T.V. Klimenko, A.A. Mokhov, A.V. Pekshev et al.; ed. A.A. Mokhov; Moscow State Law University named after O.E. Kutafin (MSUA). Moscow: Prospekt Publishing House, 2021, 544 p.

24. Murashkin I.A. *Sudebno-ekspertnye uchrezhdeniya v Rossiyskoy Federatsii* [Forensic institutions in the Russian Federation] / I.A. Murashkin, O.A. Yalov, A.N. Savenkov. Moscow: Military University, 2003, 30 p.
25. Naumov P.Yu., Bol'shakova V.M., Zemlin A.I., Kholikov I.V. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 6, pp. 283–306. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-283-306>
26. Naumov P.Yu., Zemlin A.I., Utyuganov A.A. *Aktual'nye problemy gosudarstva i prava*, 2022, vol. 6, no. 4, pp. 532–539. <https://doi.org/10.20310/2587-9340-2022-6-4-532-539>
27. Novikov N.S., Naumov P.Yu., Utyuganov A.A. *Aktual'nye problemy gosudarstva i prava*, 2022, vol. 6, no. 3, pp. 450–458. <https://doi.org/10.20310/2587-9340-2022-6-3-450-458>
28. Ognerubov N.A., Zelepukin R.V., Bol'shakova V.M. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 6, pp. 266–282. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-266-282>
29. Savenkov A.N., Kudashkin A.V. *Gosudarstvo i pravo*, 2021, no. 4, pp. 7–34.
30. Kharitonov S.S. *Pravo v Vooruzhennykh Silakh – Voенно-pravovoe obozrenie*, 2019, no. 6 (263), pp. 18–24.
31. Kholikov I.V., Vovkodav V.S. *Pravo v Vooruzhennykh Silakh – Voенно-pravovoe obozrenie*, 2019, no. 7 (264), pp. 38–44.
32. Kholikov I.V., Milovanovich A., Naumov P.Yu. *Zhurnal rossiyskogo prava*, 2022, vol. 26, no. 11, pp. 132–148. <https://doi.org/10.12737/jrl.2022.122>
33. Kholikov I.V. Federal'nyy gosudarstvennyy kontrol' (nadzor) za soblyudeniem zakonodatel'stva v oblasti obespecheniya bezopasnosti obektov toplivno-energeticheskogo kompleksa: novyy etap regulirovaniya i pravoprimeneniya [Federal state control (supervision) over compliance with legislation in the field of ensuring the safety of fuel and energy complex facilities: a new stage of regulation and law enforcement] / I.V. Kholikov, P.Yu. Naumov, V.M. Bol'shakova et al. *Ugol'*, 2022, no. 10 (1159), pp. 66–71. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022106671>
34. Kholikov I.V., Bol'shakova V.M., Naumov P.Yu., Zelepukin R.V. *Gosudarstvo i pravo*, 2022, no. 10, pp. 51–62. <https://doi.org/10.31857/S102694520021788-7>
35. Kholikov I.V. *Aktual'nye problemy gosudarstva i prava*, 2022, vol. 6, no. 4, pp. 547–555. <https://doi.org/10.20310/2587-9340-2022-6-4-547-555>
36. Kholikov I.V., Damaskin O.V. *Predstavitel'naya vlast' – XXI vek: zakonodatel'stvo, kommentarii, problem*, 2018, no. 3 (162), pp. 10–13.
37. Bukhtiyarov I.V. Occupational health in Russia / I.V. Bukhtiyarov, N.B. Rubtsova, I.V. Kholikov. *Occupational Medicine and Work Ability*, 2018, no. 3, pp. 46–57.

38. Chernogor N.N. Impact of the spread of epidemics, pandemics and mass diseases on economic security of transport / N.N. Chernogor, A.I. Zemlin, I.V. Kholikov, I.A. Mamedova. *E3S Web of Conferences, Blagoveshchensk, September 23–24, 2020*. Blagoveshchensk, 2020, 05019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020305019>
39. Zemlin A. Problems of Ensuring Security of Transport Infrastructure Facilities / A. Zemlin, I. Kholikov, I. Mamedova, O. Zemlina. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vladivostok, October 06–09, 2020*. Vladivostok, 2021, 042002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/4/042002>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Петр Юрьевич Наумов, кандидат педагогических наук, помощник начальника госпиталя по правовой работе – начальник отделения правового обеспечения

ФГКУЗ «Главный военный клинический госпиталь войск национальной гвардии Российской Федерации»

Вишняковское шоссе, влад. 101, микр. Никольско-Архангельский, г. Балашиха, Московская область, 143914, Российская Федерация
petr.naumov.777@mail.ru

Холиков Иван Владимирович, доктор юридических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела международного права, профессор кафедры международного и европейского права
ФГНИУ «Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации»
ул. Большая Черемушкинская, 34, , г. Москва, 117218, Российская Федерация
iv_kholik@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Petr Y. Naumov, Candidate of Pedagogical Sciences, Assistant Head of the Hospital for Legal Work – Head of the Legal Support Department
Main military clinical hospital of the national guard troops of the Russian Federation

101, Vishnyakovskoye highway, Nikolsko-Arkhangelsky microdistrict, Balashikha, Moscow region, 143914, Russian Federation
petr.naumov.777@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2875-2322>

SPIN-code: 2750-3053

Ivan V. Kholikov, Doctor of Law, Professor, Chief Researcher of International Law Section, Professor of the Chair of International and European law
Institute of Legislation and Comparative Law under the Government of the Russian Federation
34, B. Cheremushkinskaya Str., Moscow, 117218, Russian Federation
iv_kholik@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0421-5829>
SPIN-code: 7311-5596

Поступила 25.01.2023

После рецензирования 10.02.2023

Принята 26.02.2023

Received 25.01.2023

Revised 10.02.2023

Accepted 26.02.2023

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научно-практический рецензируемый журнал **Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture** издается с целью пропаганды фундаментальных и фундаментально-прикладных региональных достижений в области медицины, биологии, сельского хозяйства и смежных дисциплин на территории Российской Федерации и за рубежом.

Требования к оформлению статей

| | |
|--------------------------------------|---|
| Объем рукописи | 7-24 страницы формата А4, включая таблицы, иллюстрации, список литературы; для аспирантов и соискателей ученой степени кандидата наук – 7-10. |
| Поля | все поля – по 20 мм |
| Шрифт основного текста | Times New Roman |
| Размер шрифта основного текста | 14 пт |
| Межстрочный интервал | полупетличный |
| 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, biology, agriculture and related sciences on the territory of the Russian Federation and abroad.

Requirements for the articles to be published

| | |
|---------------------------|--|
| Volume of the manuscript | 7-24 pages A4 format, including tables, figures, references; for post-graduates pursuing degrees of candidate and doctor of sciences – 7–10. |
| Margins | all margins –20 mm each |
| Main text font | Times New Roman |
| Main text size | 14 pt |
| Line spacing | 1.5 interval |
| First line indent | 1,25 cm |
| Text align | justify |
| Automatic hyphenation | turned on |
| Page numbering | turned off |
| Formulas | in formula processor MS Equation 3.0 |
| Figures | in the text |
| References to a formula | (1) |
| References to the sources | [2, p.5], references are given in a single list at the end of the manuscript in the order in which they appear in the text |

DO NOT USE FOOTNOTES
AS REFERENCES

Article structure requirements

TITLE (in English)

Author(s): surname and initials (in English)

Abstract (in English)

Keywords: separated with semicolon (in English)

Text of the article (in English)

1. Introduction.

2. Objective.

3. Materials and methods.

4. Results of the research and Discussion.

5. Conclusion.

6. Conflict of interest information.

7. Sponsorship information.

8. Acknowledgments.

References

References text type should be Chicago Manual of Style

DATA ABOUT THE AUTHORS

Surname, first name (and patronymic) in full, job title, academic degree, academic title

Full name of the organization – place of employment (or study) without compound parts of the organizations' names, full registered address of the organization in the following sequence: street, building, city, postcode, country

E-mail address

SPIN-code in SCIENCE INDEX:

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

- АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ,
СОДЕРЖАНИЕ ИРИДОИДОВ И ФЕНОЛЬНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ В РАСТЕНИЯХ *GENTIANA CRUCIATA* L.
ИЗ РАЗНЫХ МЕСТ ОБИТАНИЯ
Э. Бименьиндавы, О.А. Тимофеева 11
- ВЛИЯНИЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ
КОРМОВЫХ ДОБАВОК НА СОХРАННОСТЬ ЖИВОЙ МАССЫ
ЛОШАДЕЙ ЯКУТСКОЙ ПОРОДЫ
**М.Ф. Григорьев, Н.М. Черноградская,
В.А. Солошенко, А.И. Григорьева, Д.И. Степанова** 27
- ДИНАМИКА ЖИЗНЕННОСТИ
ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ *HOLOSTEUM GLUTINOSUM* (M. VIEB.) FISCH.
& S.A. MEY. (CARYOPHYLLACEAE) В ЭКОТОННОЙ СИСТЕМЕ
«ВОДА-СУША» ПОБЕРЕЖЬЯ ЧОГРАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА
**Н.Ц. Лиджиева, П.А. Шаглинов,
С.В. Убушаева, С.С. Уланова, К.А. Бадмаев** 42
- ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ ИМПУЛЬСНЫМ
ДАВЛЕНИЕМ НА ПЕРЕКИСНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ЛИПИДОВ
И СОДЕРЖАНИЕ АНТИОКСИДАНТОВ В ЗЕРНОВКАХ
ПШЕНИЦЫ В ПРОЦЕССЕ СТАРЕНИЯ
Я.И. Храмова, Е.Э. Нефедьева, В.Н. Храмова 59
- ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
АЛЬГОФЛОРЫ АКДАРЬИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА
В СРЕДНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ ЗАРАФШАН
Х.А. Алимжанова, М.С. Ражабова 77
- ОЦЕНКА ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ЛЕСАХ КРЫМА
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЕРХОВЫХ И НИЗОВЫХ ПОЖАРОВ
В.Г. Кобечинская, О.Б. Ярош, В.Л. Апостолов 100

**БИОХИМИЯ, ГЕНЕТИКА
И МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ**

ВЛИЯНИЕ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО
ПРИМЕНЕНИЯ ЦИНКА НА ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЙ
СТАТУС В МОДЕЛИ MAFLD

**Е.Р. Никонорова, А.А. Никоноров,
Е.В. Попова, Э.Ф. Аглетдинов, А.И. Синицкий,
А.А. Тиньков** 123

**СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ**

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ
ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ
АНТРОПОГЕННОГО СТРЕССА

**П.А. Кузьмин, Т.В. Скобликова,
С.А. Горовой, О.В. Отто** 141

ПОСЕВНЫЕ ПЛОЩАДИ
КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ
ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ НЕЗАВИСИМОСТИ
ЕВРЕЙСКОЙ АВТОНОМНОЙ ОБЛАСТИ

**Е.В. Стельмах, Т.М. Комарова,
С.А. Соловченков** 164

ШЕРСТНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ
И КАЧЕСТВО ШЕРСТИ ОВЕЦ ПОРОДЫ
РОССИЙСКИЙ МЯСНОЙ МЕРИНОС
ОТ ВНУТРИ- И МЕЖЛИНЕЙНОГО ПОДБОРА

**Е.Н. Чернобай, А.И. Суров, Н.А. Резун,
О.Н. Онищенко, С.А. Олейник** 179

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
РИТМА СЕЗОННОГО РАЗВИТИЯ SCUTELLARIA
VAICALENSIS GEORGI В НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЕ
И НА ЮЖНОМ БЕРЕГУ КРЫМА

**Е.Ю. Бабаева, Ю.М. Минязева,
Л.А. Логвиненко, А.В. Молчанова** 208

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

- КОГНИТИВНАЯ И АФФЕКТИВНО-ЭМОЦИОНАЛЬНАЯ
СФЕРА ПАЦИЕНТОВ, ПЕРЕБОЛЕВШИХ КОРОНАВИРУСНОЙ
ИНФЕКЦИЕЙ И НАХОДЯЩИХСЯ НА РЕАБИЛИТАЦИИ
**О.В. Борисов, Д.В. Гартфельдер, А.Н. Захарова,
Е.С. Комарова, Г.С. Дулина** 229
- ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ В СФЕРЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
**И.Ю. Ваславская, А.Л. Полтарыхин,
А.А. Колупаев, В.Г. Воробьева** 253
- РОЛЬ ЭНДОДОНТИИ В ЛЕЧЕНИИ ХРОНИЧЕСКИХ
ОДОНТОГЕННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ
К ПРОТЕЗИРОВАНИЮ
Т.Л. Маругина, Д.В. Киприн, А.И. Череватенко 294

ВНУТРЕННИЕ БОЛЕЗНИ

- ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГЕМОГРАММЫ
ДЛЯ РАННЕГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ
МИКСТ-ИНФЕКЦИИ ЭРИТЕМНОЙ ФОРМЫ ИКСОДОВОГО
КЛЕЩЕВОГО БОРРЕЛИОЗА И КЛЕЩЕВОГО ЭНЦЕФАЛИТА
Е.Н. Ильинских, Е.Н. Филатова, А.В. Решетова 307
- АФФЕКТИВНЫЕ РАССТРОЙСТВА У МУЖЧИН,
ИМЕЮЩИХ ХРОНИЧЕСКУЮ ИШЕМИЧЕСКУЮ БОЛЕЗНЬ
СЕРДЦА В СОЧЕТАНИИ С МЕТАБОЛИЧЕСКИМ СИНДРОМОМ
Р.А. Яскевич, О.Л. Москаленко 327

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ И СООБЩЕНИЯ

- БИОСОВМЕСТИМЫЕ БИОМИМЕТИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ
СТРУКТУРЫ С АКТИВНЫМ ОТКЛИКОМ В ИМПЛАНТОЛОГИИ
И РЕГЕНЕРАТИВНОЙ МЕДИЦИНЕ. ЧАСТЬ I. ОСНОВНЫЕ
ПРИНЦИПЫ БИОСОВМЕСТИМОСТИ АКТИВНЫХ ИМПЛАНТАТОВ
О.В. Градов, М.А. Градова, В.В. Кочервинский 346

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ НИТРОПИРИДИНОВ

**Е.В. Иванова, И.И. Сурова, М.Б. Никишина,
Л.Г. Мухторов, И.В. Шахкельдян, Ю.М. Атрощенко 378**

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ АРГЕНТИНЫ**

И.А. Аксенов, П.Н. Афонин, И.В. Греков, А.С. Абрамов 402

**КЛАСТЕР КАК ОСНОВА УСТОЙЧИВОГО
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ В СФЕРЕ АПК**

**О.М. Цугленок, М.В. Абушенкова,
Р.Г. Ахмадеев, К.Э. Тюпаков 416**

**ПРАВОВОЙ СТАТУС ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ РЕПРОДУКТИВНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ В МУСУЛЬМАНСКИХ СТРАНАХ**

В.А. Шестак, А.Д. Цыплакова, И.В. Холиков 435

**КОМПЛЕКСНАЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
ОСОБЕННОСТЕЙ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

**Л.А. Ломова, О.Б. Истомина, А. Дооранов,
Р.А. Алешко, О.М. Цугленок 454**

**ХАРАКТЕРИСТИКА ПРАВОВЫХ ОСНОВ
ПРОВЕДЕНИЯ ВОЕННО-ВРАЧЕБНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ В ВОЙСКАХ
НАЦИОНАЛЬНОЙ ГВАРДИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

П.Ю. Наумов, И.В. Холиков 474

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ 494

CONTENTS

BIOLOGICAL SCIENCES

- DETERMINATION OF IRIDOID,
ANTIOXIDANT ACTIVITY AND PHENOLIC COMPOUNDS
BY HPLC METHOD IN PLANTS GENTIANA CRUCIATA L.
FROM DIFFERENT GROWTH PLACE
E. Bimenyindavyi, O.A. Timofeeva 11
- ABOUT NON-TRADITIONAL FEED ADDITIVES INFLUENCE
ON SAFETY OF THE YAKUT BREED HORSES LIVE WEIGHT
**M.F. Grigorev, N.M. Chernogradskay, V.A. Soloshenko,
A.I. Grigoreva, D.I. Stepanova** 27
- DYNAMICS OF THE VITALITY OF CENOPOPULATIONS
OF HOLOSTEUM GLUTINOSUM (M. BIEB.) FISCH.
& C.A. MEY. (CARYOPHYLLACEAE) IN THE ECOTONE SYSTEM
“WATER-LAND” OF THE COAST OF THE CHOGRAI RESERVOIR
**N.Ts. Lidzhieva, P.A. Shaglinov, S.V. Ubushaeva,
S.S. Ulanova, K.A. Badmaev** 42
- THE INFLUENCE OF THE TREATMENT
OF IMPULSE PRESSURE ON LIPID PEROXIDATION
AND THE CONTENT OF ANTIOXIDANTS
IN WHEAT GRAINS DURING AGING
Ya.I. Khramova, E.E. Nefed’eva, V.N. Khramova 59
- TAXONOMIC ANALYSIS OF THE ALGOFLORES
OF THE AKDARYA RESERVOIR IN THE MIDDLE REACHES
OF THE ZARAFSHAN RIVER
Kh.A. Alimjanova, M.S. Rajabova 77
- ASSESSMENT OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS
IN CRIMEAN FORESTS UNDER THE INFLUENCE
OF CROWN AND SURFACE FIRES
V.G. Kobechinskaya, O.B. Yarosh, V.L. Apostolov 100

**BIOCHEMISTRY, GENETICS
AND MOLECULAR BIOLOGY**

PREVENTIVE ZINC SUPPLEMENTATION EFFECT
ON REDOX STATUS IN RAT MODEL OF MAFLD

**E.R. Nikonorova, A.A. Nikonorov, E.V. Popova,
E.F. Agletdinov, A.I. Sinitskii, A.A. Tinkov** 123

AGRICULTURAL SCIENCES

RESEARCH OF THE STATE OF WOODY AND BRUSHWOOD
PLANTS UNDER ANTHROPOGENIC STRESS CONDITIONS

P.A. Kuzmin, T.V. Skoblikova, S.A. Gorovoy, O.V. Otto 141

SOWN AREAS AS A FACTOR
IN THE FORMATION OF FOOD INDEPENDENCE
OF THE JEWISH AUTONOMOUS REGION

E.V. Stelmakh, T.M. Komarova, S.A. Solovchenkov 164

WOOL PRODUCTIVITY AND QUALITY OF RUSSIAN MEAT
MERINO SHEEP FROM INTRA- AND INTERLINE SELECTION

**E.N. Chernobai, A.I. Surov, N.A. Rezun,
O.N. Onishchenko, S.A. Oleinik** 179

COMPARATIVE CHARACTERISTICS
OF THE RHYTHM OF THE SEASONAL DEVELOPMENT
OF SCUTELLARIA BAICALENSIS GEORGI
IN THE NON-CHERNOZEM ZONE AND ON THE SOUTH
COAST OF THE CRIMEA

**E.Yu. Babaeva, Yu.M. Minyazeva, L.A. Logvinenko,
A.V. Molchanova** 208

**PUBLIC HEALTH
AND PREVENTIVE MEDICINE**

COGNITIONS AND EMOTIONS OF PATIENTS
DURING POST-COVID REHABILITATION

**O.V. Borisov, D.V. Hartfelder, A.N. Zakharova,
E.S. Komarova, G.S. Dulina** 229

**INCREASING THE EFFICIENCY OF THE IMPLEMENTATION
OF NATIONAL PROJECTS IN THE FIELD OF HEALTHCARE****I.Yu. Vaslavskaya, A.L. Poltarykhin,
A.A. Kolupaev, V.G. Vorobieva253****THE ROLE OF ENDODONTICS IN THE TREATMENT OF CHRONIC
ODONTOGENIC DISEASES IN PREPARATION FOR PROSTHETICS****T.L. Marugina, D.V. Kiprin, A.I. Cherevatenko294****INTERNAL MEDICINE****HEMOGRAM INDICATORS ASSESSMENT
FOR EARLY PREDICTING THE MIXED INFECTION
OF THE ERYTHEMA MIGRANS FORM OF LYME BORRELIOSIS
AND TICK-BORNE ENCEPHALITIS****E.N. Ilyinskikh, E.N. Filatova, A.V. Reshetova307****AFFECTIVE DISORDERS IN MEN WITH ARTERIAL HYPERTENSION
IN COMBINATION WITH METABOLIC SYNDROME****R.A. Yaskevich, O.L. Moskalenko327****SCIENTIFIC REVIEWS AND REPORTS****BIOCOMPATIBLE BIOMIMETIC
POLYMER STRUCTURES WITH AN ACTIVE RESPONSE
FOR IMPLANTOLOGY AND REGENERATIVE MEDICINE. PART I:
BASIC PRINCIPLES OF THE ACTIVE IMPLANT'S BIOCOMPATIBILITY****O.V. Gradov, M.A. Gradova, V.V. Kochervinskii346****CHEMICAL PROPERTIES AND APPLICATIONS
OF NITROPYRIDINES****E.V. Ivanova, I.I. Surova, M.B. Nikishina,
L.G. Mukhtorov, I.V. Shahkeldyan, Yu.M. Atroshchenko378****INTERDISCIPLINARY RESEARCH****ASSESSMENT OF THE CURRENT STATE OF THE AGRICULTURAL
STRUCTURE OF ARGENTINA****I.A. Aksenov, P.N. Afonin, I.V. Grekov, A.S. Abramov402**

| | |
|--|-----|
| CLUSTER AS THE BASIS FOR THE SUSTAINABLE FUNCTIONING OF ENTERPRISES IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX O.M. Tsuglenok, M.V. Abushenkova, R.G. Akhmadeev, K.E. Tyupakov | 416 |
| LEGAL SITUATION REGARDING ASSESSED REPRODUCTION TECHNOLOGIES IN MUSLIM COUNTRIES V.A. Shestak, A.D. Tsyplakova, I.V. Kholikov | 435 |
| COMPREHENSIVE GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE FEATURES OF URBANIZED TERRITORIES L.A. Lomova, O.B. Istomina, A. Dooranov, R.A. Aleshko, O.M. Tsuglenok | 454 |
| CHARACTERISTICS OF THE LEGAL FOUNDATIONS OF THE MILITARY MEDICAL EXAMINATION IN THE TROOPS OF THE NATIONAL GUARD OF THE RUSSIAN FEDERATION P.Yu. Naumov, I.V. Kholikov | 474 |
| RULES FOR AUTHORS | 494 |

Подписано в печать 28.02.2023. Дата выхода в свет 28.02.2023. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 36,05. Тираж 5000 экз. Свободная цена. Заказ SJLSA151/023. Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии «Издательство «Авторская Мастерская». Адрес типографии: ул. Пресненский Вал, д. 27 стр. 24, г. Москва, 123557 Россия.