

Решением президиума Высшей аттестационной комиссии журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук



Том 19 № 1 2024

ISSN 1992-1098

e-ISSN 2413-0958

ЮГ РОССИИ: ЭКОЛОГИЯ, РАЗВИТИЕ

Vol.19 no. 1 2024

SOUTH OF RUSSIA: ECOLOGY, DEVELOPMENT

Журнал «Юг России: экология, развитие» входит в Перечень Высшей аттестационной комиссии (ВАК) и реферативные базы цитирования: Scopus, Web of Science Core Collection (ESCI), Web of Science Zoological Record, Российская система цитирования (РИНЦ), Cyberleninka, Ulrich's Periodicals Directory, Российская государственная библиотека (РГБ), ВИНТИ, The European Library, The British Library, Jisc copac, Google Scholar, Bielefeld Academic Search Engine (BASE), OCLC WorldCat, EBSCO A-to-Z, Соционет, Open Access Infrastructure for Research in Europe (Open AIRE), Research Bible, Academic Keys and Open Archives Initiative.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**Главный редактор**

Шестопалов Александр Михайлович, директор Федерального исследовательского центра Фундаментальной и трансляционной медицины, доктор биологических наук, профессор (Новосибирск, Россия)

Заместители главного редактора

Асадулаев Загирбег Магомедович, Горный ботанический сад, Дагестанский федеральный исследовательский центр Российской академии наук (Махачкала, Россия)

Гаджиев Алимурад Ахмедович, Институт экологии и устойчивого развития, Дагестанский государственный университет (Махачкала, Россия)

Кочуров Борис Иванович, Институт географии Российской академии наук (Москва, Россия)

Рабазанов Нухкади Ибрагимович, Прикаспийский институт биологических ресурсов, Дагестанский федеральный исследовательский центр Российской академии наук (Махачкала, Россия)

Научный редактор

Чибилёв Александр Александрович, Институт степи Уральского отделения Российской академии наук (Оренбург, Россия)

Ответственные секретари

Гасангаджиева Азиза Гусейновна, Институт экологии и устойчивого развития, Дагестанский государственный университет (Махачкала, Россия)

Гусейнова Надира Орджоникидзева, Институт экологии и устойчивого развития, Дагестанский государственный университет (Махачкала, Россия)

Даудова Мадина Гасан-Гусейновна, Институт экологии и устойчивого развития, Дагестанский государственный университет (Махачкала, Россия)

Иванушенко Юлия Юрьевна, Институт экологии и устойчивого развития, Дагестанский государственный университет (Махачкала, Россия)

Теймуров Абдулгамид Абулкасумович, Институт экологии и устойчивого развития, Дагестанский государственный университет (Махачкала, Россия)

Технический редактор

Юсупов Юсуп Газимагомедович, Институт экологии и устойчивого развития, Дагестанский государственный университет (Махачкала, Россия)

Для ознакомления с целями и задачами, инструкциями по подготовке и подаче рукописи, подписке и другой информации, посетите: <https://ecodag.elpub.ru/ugro/about>

EDITORIAL BOARD**Editor-in-Chief**

Alexander M. Shestopalov, Head, Federal Research Centre for Fundamental and Translational Medicine, Doctor of Biological Sciences, Professor (Novosibirsk, Russia)

Deputy Editors-in-Chief

Zagirbeg M. Asadulaev, Mountain Botanical Garden, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences (Makhachkala, Russia)

Alimurad A. Gadzhiev, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University (Makhachkala, Russia)

Boris I. Kochurov, Institute of Geography, Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

Nukhkadi I. Rabazanov, Caspian Institute of Biological Resources, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences (Makhachkala, Russia)

Scientific Editor

Aleksander A. Chibilev, Institute of Steppe, Ural Branch, Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia)

Editorial Executive Secretaries

Aziza G. Gasangadzhieva, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University (Makhachkala, Russia)

Nadira O. Guseynova, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University (Makhachkala, Russia)

Madina G. Daudova, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University (Makhachkala, Russia)

Yuliya Yu. Ivanushenko, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University (Makhachkala, Russia)

Abdulgamid A. Teymurov, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University (Makhachkala, Russia)

Technical Editor

Yusup G. Yusupov, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University (Makhachkala, Russia)

For aims and scope, manuscript preparation and submission instructions, subscription and other information visit: <https://ecodag.elpub.ru/ugro/about>

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Алексеев А.Ю., Федеральный исследовательский центр Фундаментальной и трансляционной медицины (Новосибирск, Россия)

Асхабов А.М., Коми научный центр Российской академии наук (Сыктывкар, Россия)

Асатурова А.М., Федеральный научный центр биологической защиты растений (Краснодар, Россия)

Бехруз Абтахи, Мохаммад Хоссейн, Факультет биологии и биотехнологии, Государственный университет Ш. Бехешти (Тегеран, Иран)

Бондарцева М.А., Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук (Санкт-Петербург, Россия)

Братков В.В., Московский государственный университет геодезии и картографии (Москва, Россия)

Власов Д.Ю., Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Россия)

Волобуев С.В., Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук (Санкт-Петербург, Россия)

Гаджиев Н.Г., Дагестанский государственный университет (Махачкала, Россия)

Джамбулатов З.М., Дагестанский государственный аграрный университет им. М.М. Джамбулатова (Махачкала, Россия)

Зайцев В.Ф., Астраханский государственный технический университет (Астрахань, Россия)

Замотайлов А.С., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия)

Ирза В.Н., Федеральный центр охраны здоровья животных (Владимир, Россия)

Канбетов А.Ш., Каспийский исследовательский институт НАО «Атырауский университет нефти и газа» (Атырау, Казахстан)

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

Клюшин П.В., Государственный университет по землеустройству (Москва, Россия)

Лобковский Л.И., Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (Москва, Россия)

Магомедов М.Д., Прикаспийский институт биологических ресурсов, ДФИЦ РАН (Махачкала, Россия)

Матишов Г.Г., Южный научный центр РАН (Ростов-на-Дону, Россия)

Миноранский В.А., Южный Федеральный университет (Ростов-на-Дону, Россия)

Москвитина Н.С., Национальный исследовательский Томский государственный университет (Томск, Россия)

Набоженко М.В., Прикаспийский институт биологических ресурсов, Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН (Махачкала, Россия)

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

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

Переведенцева Л.Г., Пермский государственный национальный исследовательский университет (Пермь, Россия)

Рожнов В.В., Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН (Москва, Россия)

Трифонов Т.А., Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых (Владимир, Россия)

Фальк Хюттманн, Университет Аляски в Фербенксе (Аляска, США)

Шестопалова Л.В., Новосибирский государственный университет (Новосибирск, Россия)

Щелканов М.Ю., Научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии имени Г.П. Сомова (Владивосток, Россия)

Яковенко Н.В., Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова (Воронеж, Россия)

Яковлев Р.В., Алтайский государственный университет (Барнаул, Россия)

EDITORIAL COUNCIL

Alexander Yu. Alekseev, Federal Research Centre for Fundamental and Translational Medicine (Novosibirsk, Russia)

Askhab M. Askhabov, Komi Scientific Centre, Russian Academy of Sciences (Syktvykar, Russia)

Anzhela M. Asaturova, Federal Research Centre of Biological Plant Protection (Krasnodar, Russia)

Abtahi Behrooz, Mohammad Hossein, Faculty of Life Sciences & Biotechnology, Shahid Beheshti University (Tehran, Iran)

Margarita A. Bondartseva, Komarov Botanical Institute, Russian Academy of Sciences (St. Petersburg, Russia)

Vitaliy V. Bratkov, Moscow State University of Geodesy and Cartography (Moscow, Russia)

Dmitry Yu. Vlasov, Saint-Petersburg State University (St. Petersburg, Russia)

Sergey V. Volobuev, Komarov Botanical Institute, RAS (St. Petersburg, Russia)

Nazirkhan G. Gadzhiev, Dagestan State University (Makhachkala, Russia)

Zaidin M. Dzhamdulatov, M.M. Dzhambulatov Dagestan State Agrarian University (Makhachkala, Russia)

Vyacheslav F. Zaitsev, Astrakhan State Technical University (Astrakhan, Russia)

Aleksandr S. Zamotailov, Kuban State Agrarian University (Krasnodar, Russia)

Viktor N. Irza, Federal Centre for animal health (Vladimir, Russia)

Assylbek Sh. Kanbetov, Caspian Research Institute, Atyrau University of Oil and Gas (Atyrau, Kazakhstan)

Nikolay S. Kasimov, M.V. Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

Pavel V. Klyushin, State University of Land Use Planning (Moscow, Russia)

Leopold I. Lobkovskiy, Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

Magomedrasul D. Magomedov, Caspian Institute of Biological Resources, Dagestan Federal Research Centre, RAS (Makhachkala, Russia)

Gennady G. Matishov, Southern Scientific Centre, Russian Academy of Sciences (Rostov-on-Don, Russia)

Victor A. Minoranskii, Southern Federal University (Rostov-on-Don, Russia)

Nina S. Moskvitina, National Research Tomsk State University (Tomsk, Russia)

Maxim V. Nabozhenko, Caspian Institute of Biological Resources, Dagestan Research Center, RAS (Makhachkala, Russia)

Galina N. Ogureeva, M.V. Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

Vladimir G. Onipchenko, M.V. Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

Lydia G. Perevedentseva, Perm State University (Perm, Russia)

Viatcheslav V. Rozhnov, Institute of Problems of Ecology and Evolution A.N. Severtsov, RAS (Moscow, Russia)

Tatyana A. Trifonova, Vladimir State University (Vladimir, Russia)

Falk Huettmann, University of Alaska Fairbanks (Alaska, USA)

Lidia V. Shestopalova, Novosibirsk State University (Novosibirsk, Russia)

Mikhail Yu. Shchelkanov, G.P. Somov Research Institute of Epidemiology and Microbiology (Vladivostok, Russia)

Nataliya V. Yakovenko, G.F. Morozov Voronezh State University Forestry and Technologies (Voronezh, Russia)

Roman V. Yakovlev, Altai State University (Barnaul, Russia)

БОТАНИКА

Дубровная С.А., Хуснетдинова Л.З., Тимофеева О.А.

- Особенность формирования онтогенетической структуры ценопопуляции и семенная продуктивность *Sanguisorba officinalis* в условиях лесной и лесостепной растительности Среднего Поволжья.....8-17
- Вагабова Ф.А., Алиев А.М., Раджабов Г.К., Маллалиев М.М.
- Изменчивость компонентного состава эфирного масла *Artemisia salsoloides* Willd. из природных популяций флоры Дагестана.....18-29

ВИРУСОЛОГИЯ

Казачинская Е.И., Зибарева Л.Н., Филоненко Е.С., Иванова А.В., Кононова Ю.В., Чепурнов А.А., Шестопапов А.М.

- Исследование ингибирующей активности экстрактов, фракций и вторичных метаболитов *Silene* spp. (Caryophyllaceae) и *Serratula cupuliformis* (Asteraceae) на «вход» простого герпеса 2 типа в чувствительные клетки линии Vero.....30-46
- Екушов В.Е., Тотменин А.В., Готфрид Л.Г., Халиков М.Р., Миниханова В.-В.В., Скударнов С.Е., Остапова Т.С., Гашникова Н.М.
- Генетическое разнообразие вируса гепатита С и распространенность мутаций резистентности к ингибиторам NS5A в Красноярском крае.....47-59

ЗООЛОГИЯ

Жигалин А.В., Гаджиев А.А., Муташев Б.А., Алексеев А.Ю.

- Особенности экологии *Rhinolophus mehelyi* (Chiroptera: Rhinolophidae) в период гибернации на северо-востоке Кавказа.....60-66
- Маслов А.А., Иваницкий А.Н., Алексеев А.Ю.
- Первая находка прудовой ночницы *Myotis dasycneme* (Boie, 1825) в Ставропольском крае, Западный Кавказ, Россия.....67-71

ЭНТОМОЛОГИЯ

Grigoryan N.M., Balayan K.V., Magomedova M.Z., Magomedova P.D., Hayrapetyan V.T.

- New species of the genus *Calycomyza* Hendel (Diptera, Agramyzidae) in the South Caucasus fauna.....72-76

ЭКОЛОГИЯ

Иванова Л.В., Стоколос О.А., Демиденко Э.С., Кошелев В.Н.

- Исследование структурных параметров нефтяных кислот и оценка их экологической опасности.....77-84
- Исрапилова А.И., Джафарова А.М., Адиева А.А., Абакаров Г.М., Гусейнова Н.О., Халимбекова У.Ю., Астаева М.Д., Бекшоков К.С.
- Влияние новосинтезированных теллурсодержащих цианиновых красителей на интенсивность оксидативных процессов в организме млекопитающих.....85-94

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Суров А.И., Лапенко Н.Г., Хонина О.В., Оганян Л.Р., Старостина М.А.

- Степные экосистемы юга России как фактор эффективного развития животноводства.....95-104

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Тимощук И.В., Асякина Л.К., Горелкина А.К., Осинцева М.А., Голубцова Ю.В., МиленТЬева И.С.

- Почвенно-экологическая оценка техногенно нарушенного ландшафта в районе отвала угольного разреза.....105-113
- Петров Ю.В., Кочуров Б.И.
- Пространственно-временные трансформации ресурсодобывающих субъектов РФ в 2012–2021 гг.114-123

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И СОЦИАЛЬНАЯ ГЕОГРАФИЯ

Цой М.Е., Щеколдин В.Ю., Яковенко Н.В.

- Концепция Longlife Learning как фактор конкурентоспособности и устойчивого социально-экономического развития.....124-133
- Гаджиев Н.Г., Плешаков А.М.
- Особенности финансового обеспечения экологических проектов в зеленой экономике.....134-144
- Яббарова Р.И.
- Экономика замкнутого цикла в сфере обращения с отходами: порядок и результаты финансирования.....145-150

РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ

Хубаев Т.А., Тегетаева О.Р.

- Модернизация организационной структуры Северо-Кавказского туристического кластера.....151-161

ГЕОЭКОЛОГИЯ*Никифорова З.В., Кособокова С.Р., Мармилов А.Н., Шабанов Д.И.,**Медведева Е.А., Рабазанов Н.И., Сокольская Е.А.*Преобразование рельефа юга Астраханской области после расширения сельскохозяйственных
угодий в начале прошлого столетия.....162-170*Kanbetov A.Sh., Kulbatyrov D.K., Tulegenova O.Sh., Gilazhov Y.G., Shakhmanova A.K., Abilgazyeva A.A.*

Ecological condition of marine waters in the area of dredging operations of the Kashagan field, Kazakhstan.....171-180

*Арефьева Е.В., Олтян И.Ю., Прус Ю.В.*Управление рисками чрезвычайных ситуаций, обусловленных подтоплением
застроенных горных территорий.....181-188**КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ.....189**

BOTANY

Dubrovnyaya S.A., Khusnetdinova L.Z., Timofeeva O.A.

Features of the formation of the ontogenetic structure of the cenopopulation and seed productivity of *Sanguisorba officinalis* in the conditions of forest and forest-steppe vegetation of the Middle Volga region, Russia.....8-17

Vagabova F.A., Aliev A.M., Radzhabov G.K., Mallaliev M.M.

Variability of the component composition of the essential oil of *Artemisia salsoloides* Willd. from natural populations of the flora of Dagestan.....18-29

VIROLOGY

Kazachinskaya E.I., Zibareva L.N., Filonenko E.S., Ivanova A.V., Kononova Yu.V., Chepurinov A.A., Shestopalov A.M.

Investigation of the inhibitory activity of extracts, fractions and secondary metabolites of *Silene* spp. (Caryophyllaceae) and *Serratula cupuliformis* (Asteraceae) on the «entry» of herpes simplex type 2 into sensitive cells of the Vero line.....30-46

Ekushov V.E., Totmenin A.V., Gotfrid L.G., Halikov M.R., Minikhanova V.-V.V., Skudarnov S.E., Ostapova T.S., Gashnikova N.M.

Genetic diversity of hepatitis C virus and the prevalence of resistance mutations to NS5A inhibitors in the Krasnoyarsk region.....47-59

ZOOLOGY

Zhigalin A.V., Gadzhiev A.A., Mutashev B.A., Alekseev A.Yu.

Features of the ecology of *Rhinolophus mehelyi* (Chiroptera: Rhinolophidae) during hibernation in the north-east of the Caucasus.....60-66

Maslov A.A., Ivanitzky A.N., Alekseev A.Yu.

The first find of the pond bat *Myotis dasycneme* (Boie, 1825) in Stavropol Territory and western Caucasus, Russia.....67-71

ENTOMOLOGY

Grigoryan N.M., Balayan K.V., Magomedova M.Z., Magomedova P.D., Hayrapetyan V.T.

New species of the genus *Calycomyza* Hendel (Diptera, Agromyzidae) in the South Caucasus fauna.....72-76

ECOLOGY

Ivanova L.V., Stokolos O.A., Demidenko E.S., Koshelev V.N.

Study of structural parameters of petroleum acids and analysis of their possible negative impact on the environment.....77-84

Israpilova A.I., Dzhafarova A.M., Adieva A.A., Abakarov G.M., Guseynova N.O., Khalimbekova U.Y., Astaeva M.D., Bekshokov K.S.

The influence of newly synthesized tellurium-containing cyanine dyes on the intensity of oxidative processes in the bodies of mammals.....85-94

BIOLOGICAL RESOURCES

Surov A.I., Lapenko N.G., Khonina O.V., Oganyan L.R., Starostina M.A.

Steppe ecosystems of the arid zone of southern Russia as a factor in the effective development of livestock farming.....95-104

EARTH SCIENCES

Timoshchuk I.V., Asyakina L.K., Gorelkina A.K., Osintseva M.A., Golubtsova Ju.V., Milentyeva I.S.

Soil and ecological assessment of the technogenically disturbed landscape in the area of a coal mine dump.....105-113

Petrov Yu.V., Kochurov B.I.

Spatial and temporal transformations of resource-producing subjects of the Russian Federation in 2012–2021.....114-123

ECONOMIC & SOCIAL GEOGRAPHY

Tsoy M.Ye., Shchekoldin V.Yu., Yakovenko N.V.

The “Lifelong Learning” concept as a factor of competitiveness and sustainable social and economic development.....124-133

Gadzhiev N.G., Pleshakov A.M.

Features of financial support for environmental projects in the green economy.....134-144

Yabbarova R.I.

Closed-loop economics in waste management: financing procedures and results.....145-150

RECREATIONAL GEOGRAPHY

Hubaev T.A., Tegetaeva O.R.

Modernization of the organizational structure of the North Caucasus tourism cluster.....151-161

GEOECOLOGY

*Nikiforova Z.V., Kosobokova S.R., Marmilov A.N., Shabanov D.I.,
Medvedeva E.A., Rabazanov N.I., Sokolskaya E.A.*

Transformation of the relief of the southern Astrakhan region (Russia) after the expansion
of agricultural land at the beginning of the last century.....162-170

Kanbetov A.Sh., Kulbatyrov D.K., Tulegenova O.Sh., Gilazhov Y.G., Shakhmanova A.K., Abilgazyeva A.A.
Ecological condition of marine waters in the area of dredging operations of the Kashagan field, Kazakhstan.....171-180

Arefyeva E.V., Oltyan I.Yu., Prus Yu.V.

Risk management of emergency situations caused by flooding of built-up mountain areas.....181-188

CONTACT INFORMATION.....189

Оригинальная статья / Original article
УДК 574.32
DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-1



Особенность формирования онтогенетической структуры ценопопуляции и семенная продуктивность *Sanguisorba officinalis* в условиях лесной и лесостепной растительности Среднего Поволжья

Светлана А. Дубровная, Ландыш З. Хуснетдинова, Ольга А. Тимофеева
Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

Контактное лицо

Дубровная Светлана Алексеевна, к.б.н., доцент, кафедра биологического образования, Казанский (Приволжский) федеральный университет; 420000 Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 18.
Тел. +79871881266
Email sdubrovnaya@inbox.ru
ORCID <http://orcid.org/0000-0001-5700-4203>

Формат цитирования

Дубровная С.А., Хуснетдинова Л.З., Тимофеева О.А. Особенность формирования онтогенетической структуры ценопопуляции и семенная продуктивность *Sanguisorba officinalis* в условиях лесной и лесостепной растительности Среднего Поволжья // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 1. С. 8-17. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-1

Получена 7 марта 2023 г.
Прошла рецензирование 4 июня 2023 г.
Принята 25 сентября 2023 г.

Резюме

Цель работы – изучить особенности жизненного цикла *Sanguisorba officinalis* в различных типах растительности Республики Татарстан. Использованы традиционные методы изучения ценопопуляции, проведен анализ календарного возраста растений различных онтогенетических состояний, изучена потенциальная и реальная семенная продуктивность.

В условиях широколиственного леса на основе медленно развивающихся растений *S. officinalis* формировалась молодая нормальная популяция, в условиях открытых сообществ – молодые ценопопуляции на основе интенсивных процессов семенного размножения, что позволяет использовать данные ценопопуляции для дальнейшего изучения. Преобладание в условиях широколиственного леса длительно живущих вегетативных и имматурных растений связано с затруднениями перехода особей к половому размножению, поддержание численности осуществлялось за счет вегетативного разрастания и размножения. При ухудшении эколого-ценотических условий у растений не развивались надземные побеги, формировались регрессивно-квзисенильные ценопопуляции. Данная стратегия обеспечивала выживание вида на освоенной территории. Семенная продуктивность определялась эколого-ценотическими условиями. На остепненном лугу в Бугульминском районе самый низкий показатель коэффициента семенной продуктивности – 9 %, здесь же отмечался наименьший показатель признака «Число полноценных семян» (средний показатель составил 7), низкая всхожесть семян и энергия прорастания. На поляне широколиственного леса того же района отмечали наибольшие значения этих показателей.

Реализация репродуктивного потенциала *Sanguisorba officinalis* даже в экстремальных условиях, выживание вида в различных типах растительности позволяют предположить, что территория РТ входит в ценоареал вида, что позволяет планировать на территории республики создание плантационных посадок.

Ключевые слова

Онтогенетическая структура, семенная продуктивность, ценопопуляция, *Sanguisorba officinalis*.

Features of the formation of the ontogenetic structure of the cenopopulation and seed productivity of *Sanguisorba officinalis* in the conditions of forest and forest-steppe vegetation of the Middle Volga region, Russia

Svetlana A. Dubrovnaya, Landysh Z. Khusnetdinova and Olga A. Timofeeva

Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia

Principal contact

Svetlana A. Dubrovnaya, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Biological Education, Institute of Fundamental Medicine and Biology, Kazan (Volga region) Federal University; 18 Kremlyovskaya St, Kazan, Russia 420000.

Tel. +79871881266

Email sdubrovnaya@inbox.ru

ORCID <http://orcid.org/0000-0001-5700-4203>

How to cite this article

Dubrovnaya S.A., Khusnetdinova L.Z., Timofeeva O.A. Features of the formation of the ontogenetic structure of the cenopopulation and seed productivity of *Sanguisorba officinalis* in the conditions of forest and forest-steppe vegetation of the Middle Volga region, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(1):8-17. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-1

Received 7 March 2023

Revised 4 June 2023

Accepted 25 September 2023

Abstract

The purpose of this work is to study the features of the life cycle of *Sanguisorba officinalis* in various types of vegetation in the Republic of Tatarstan, Russia.

We used traditional methods for studying the cenopopulation, analysis of the calendar age of plants of various ontogenetic states, and potential and actual seed productivity.

Under broad-leaved forest conditions, a young normal population was formed on the basis of slowly developing plants. In conditions of open communities, young cenopopulations were formed on the basis of intensive seed reproduction processes. The young cenopopulation can be recommended for further study in biomass exploitation. The predominance of long-lived vegetative and immature plants in the conditions of a broad-leaved forest is associated with difficulties in the transition of individuals to sexual reproduction. The maintenance of numbers is carried out through vegetative growth and reproduction. With deterioration of ecological and coenotic conditions, above-ground shoots were not formed but regressive-quasisenile coenopopulations were formed. Seed productivity was determined by ecological and cenotic conditions. On the steppe meadow of the Bugulma district, the lowest seed productivity index was 9 %. The lowest indicator of the trait "Number of full-fledged seeds" (the average indicator was 7), low seed germination and germination energy were also noted there. The highest values of these indicators were noted in glades of the broad-leaved areas of the same region.

The realization of the reproductive system of *Sanguisorba officinalis* even under extreme conditions and the survival of the species in various types of vegetation suggest that the territory of the Republic of Tatarstan is included in the ceno-area of the species. This will permit the creation of plantations in the republic.

Key Word

Ontogenetic structure, seed productivity, cenopopulation, *Sanguisorba officinalis*.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящий момент изучение пространственно-онтогенетической структуры ценопопуляции является неотъемлемой частью при проведении ресурсо-ведческих исследований, при выявлении эталонных растительных участков, обеспечивающих поддержание и восстановление биоразнообразия на трансформированных ландшафтах, при создании плантационных культур, способствующих поддержанию численности и генетического полиморфизма естественных популяций ресурсных видов. Анализ онтогенетической структуры ценопопуляции рассматривается в качестве важного показателя, который позволяет оценить степень благополучия вида в сообществе [1], выявить наиболее уязвимые этапы жизненного цикла, лимитирующие устойчивое существование вида в растительном сообществе.

Онтогенетическая структура ценопопуляций; инвазионная, нормальная, регрессивная, инвазионно-регрессивная [1] – не всегда отражает механизмы которые определяют ее формирование. Сходные типы ценопопуляции могут быть получены на основе прямо противоположных явлений. В то же время, в рамках ресурсо-ведческих исследований получение более полной информации о процессах в популяциях позволяет определить перспективы ее использования; вовлечение в ресурсные циклы или ограничение воздействия на популяцию для сохранения позиции вида в сообществе. В этой связи важным направлением исследования является выявление механизмов формирования онтогенетической структуры, учет доминирующего класса развития особей в ценопопуляции при классификации онтогенетической структуры. Классы развития растений были выделены Л.А. Жуковой [2] в рамках концепции поливариантности онтогенеза, где было показано, что даже в условиях посадок, при создании оптимальных условий у особей одного и того же календарного возраста фиксируется разная скорость прохождения онтогенеза.

Цель работы – изучить особенности жизненного цикла *Sanguisorba officinalis* в различных типах растительности Республики Татарстан.

В рамках поставленной цели решались следующие задачи:

1. Оценить возможность использования календарного возраста растений для интерпретации состояния вида в сообществе.

2. Изучить влияние эколого-ценотических условий на реализацию семенной продуктивности *Sanguisorba officinalis* в различных типах растительности РТ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования – кровохлебка лекарственная (*Sanguisorba officinalis* L.). Растение короткокорневищной жизненной формы, широко используется в официальной медицине, циркумполярный, полизональный вид, имеет широкий ареал распространения. Произрастает на лугах разного режима увлажнения, степных сообществах, светлых лесах. Растение преимущественно северных и средних широт. На территории России *S. officinalis* распространена повсеместно, в Западной и Восточной Сибири, на Урале и Дальнем Востоке. На европейской части страны естественные

местообитания вида существенно сократились. Изолированные местонахождения находятся на юге Средней Азии (в горах Тянь-Шаня), в Крыму и на Кавказе [3]. В пределах Республики Татарстан (РТ), где современное состояние растительности представляет собой сильно трансформированный природный комплекс с практически сведенными лесами, распаханными степными участками и наиболее продуктивными луговыми угодьями, кровохлебка встречается малочисленными популяциями на низинных лугах, на опушках и полянах, в поймах крупных рек.

Район исследования

Исследования проводились в различных районах РТ, в Республике Марий Эл (РМЭ). Краткая характеристика исследуемых местообитаний составлена на основе базовой растровой карты зонально-провинциальных групп растительных формаций Волжского бассейна [4].

Климатические показатели разных сезонов характеризовались значительной вариабельностью. В апреле 2022 г. количество осадков в несколько раз превышало средне-многолетние показатели. Основные климатические показатели представлены в таблице 2.

Были использованы основные популяционно-онтогенетические подходы [1]. Определение календарного возраста растений проведено путем подсчета симподиальных участков корневища. Большой объем выборки позволил оценить соотношение календарного и онтогенетического возраста для растений всех онтогенетических состояний в ценопопуляции пойменного луга (ЦП 4) и под пологом широколиственного леса (ЦП 5). Для растений остальных местообитаний оценивали календарный возраст растений средневозрастного генеративного онтогенетического состояния. Развитие растений оценивали на основе показателя медианы признака «Календарный возраст растений». Методологической основой такого подхода является представление о разной продолжительности стадий онтогенеза, концепции стадийно-возрастной структуры ценопопуляции, когда среди растений одной стадии (состояния онтогенеза) встречаются особи разного хронологического возраста [5].

В работе следовали рекомендациям по определению семенной продуктивности травянистых растений [6]. Энергию прорастания и всхожесть семян определяли весной в лабораторных условиях после семи месяцев хранения [7; 8]. Поскольку для кровохлебки характерны односемянные плоды, потенциальную (ПСП) и реальную семенную продуктивность (РСП) определяли в расчете на соцветие. ПСП – оценивали как число цветков в соцветии, РСП – как число полноценных семян от всех заложенных цветков. Кроме того, отмечали семена, которые на момент наблюдения не достигли полноценных размеров. Определяли коэффициент семенной продуктивности ($K_{сп}$) = $РСП/ПСП \times 100 \%$.

При отсутствии нормального распределения выборки оценивали медиану (Me). Для проверки гипотезы о равенстве генеральных средних двух независимых выборок использовали непараметрический критерий Уилкоксона-Манна-Уитни. В работе использованы стандартные обозначения уровня значимости: * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$.

Таблица 1. Краткая характеристика местообитаний**Table 1.** Characteristics of habitats

Фитоценологические единицы Phytocenological units		Естественно-исторический район РТ и РМЭ Natural-historical region of the Republics of Tatarstan and Mari El	Местообитание Habitat
Зональные типы Zone types	Подзональные Подтипы Subzonal subtypes		
Широколиственные леса Broad-leaved forests	Северо- лесостепные North forest steppe	Район юго-восточной закамской лесостепи (Бугульминский район) Region of the southeastern Zakamsk forest-steppe (Bugulminsky district) Центральный район (западно-закамской) лесостепи (Чистопольский район) Central region of the (West Zakamsk) forest-steppe (Chistopolsky district) Западный предвожский район широколиственных лесов (Апастовский район) Western pre-Volga region of broad-leaved forests (Apastovsky district)	Разнотравно-злаковый остепнённый луг (1 ЦП) Forb-grass steppe meadow (1CP) Поляна в дубняке липово-кленовом (2 ЦП) Glade in broadleaf trees forest (Bugulminsky district) (2 CP) Дубово-березовый лес. Сомкнутость крон 0.6 (5 ЦП) Oak forest with birch. Crown density 0.6. (5 CP) Разнотравно-злаковый остепненный луг на склоне холма юго-западной экспозиции. Ценопопуляция приурочена к выходу грунтовых вод (3 ЦП) Forb-grass steppe meadow on a slope with southwestern exposure. Cenopopulation is confined to the release of groundwater (3 CP)
Сосновые и широколиственно-сосновые леса Pine and broad- leaved-pine forests	Подтаежные Subtaiga	Район сосновых лесов заволжской песчаной низменной равнины (Медведевский район) Area of pine forests of the Zavolzhskaya sandy lowland plain (Medvedevsky district)	Луг в пойме р. Большая Кокшага (4 ЦП) Meadow in the floodplain of the river Bolshaya Kokshaga (4 CP)

Таблица 2. Метеорологические показатели климата Республики Татарстан**Table 2.** Meteorological indicators of the RT climate

Период наблюдения Observation period	Апрель April	Май May	Июнь June	Июль July	Август August	Сентябрь September
Температура / Temperature						
Средне-многолетняя <i>Long-term average</i>	5,5	11,5	18,1	20,2	17,6	11,7
2020	5,2	13,7	16,8	22,2	17,3	13,3
2021	6,6	18,1	22,4	22,0	22,3	9,8
2022	5,8	10,1	18,1	21,6	23,3	11,8
Осадки / Precipitation						
Средне-многолетняя <i>Long-term average</i>	30	41	63	67,0	60	52
2020	60	66	74	69	98	24
2021	33	20	21	81	9	59
2022	116	69	25	86	0	67

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В условиях искусственных посадок растения зацвели на второй год, в условиях естественных сообществ – на третий, хотя доля таких растений не велика (3,0 %) (рис. 1). Показатель медианы календарного возраста растений виргинильного онтогенетического состояния составил – 4,5, средневозрастного генеративного – 6.

В условиях низкой освещенности широколиственного леса развитие растений несколько замедлялось (рис. 2). Показатель медианы календарного возраста растений виргинильного онтогенетического состояния составил – 6,0, средневозрастного генеративного – 8,0.

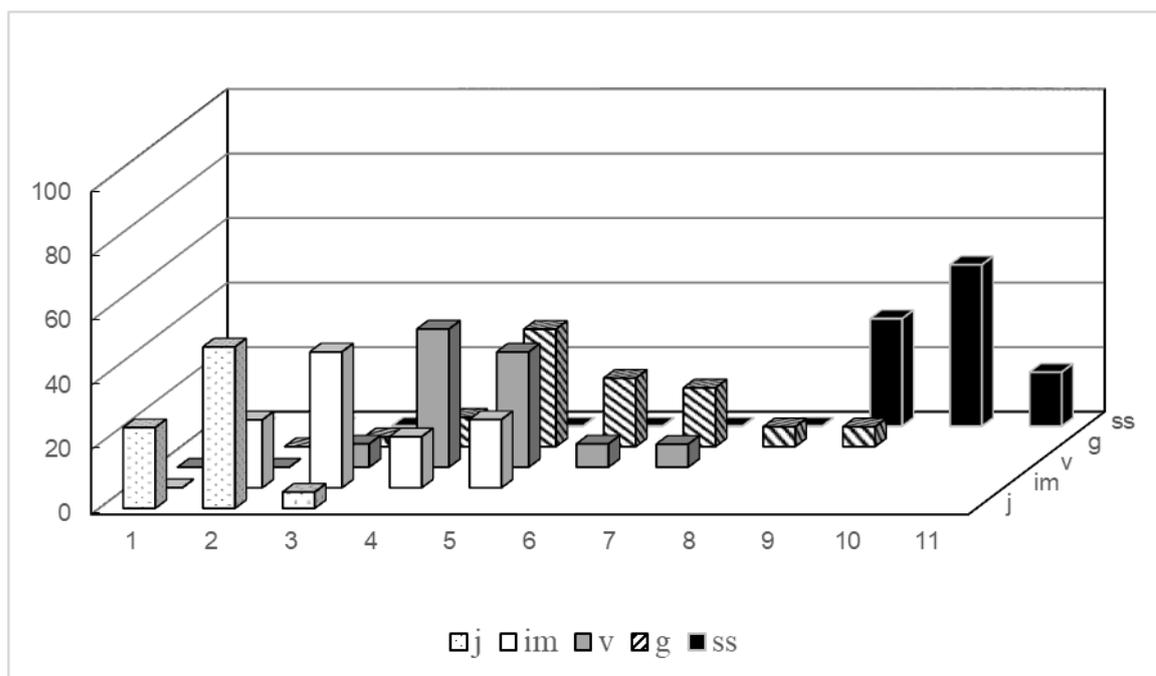


Рисунок 1. Распределение по классам признака календарный возраст растений различных онтогенетических состояний на пойменном лугу (ЦП 4)

Примечание: по оси абсцисс – календарный возраст растений (годы); по оси ординат – доли особей различных онтогенетических групп (%)

Note: along the vertical axis – calendar age (years); along the horizontal axis – shares of individuals of different ontogenetic groups (%)

Figure 1. Class distribution of the trait calendar age of plants of various ontogenetic states in a floodplain meadow (CP 4)

Note: along the vertical axis – calendar age (years); along the horizontal axis – shares of individuals of different ontogenetic groups (%)

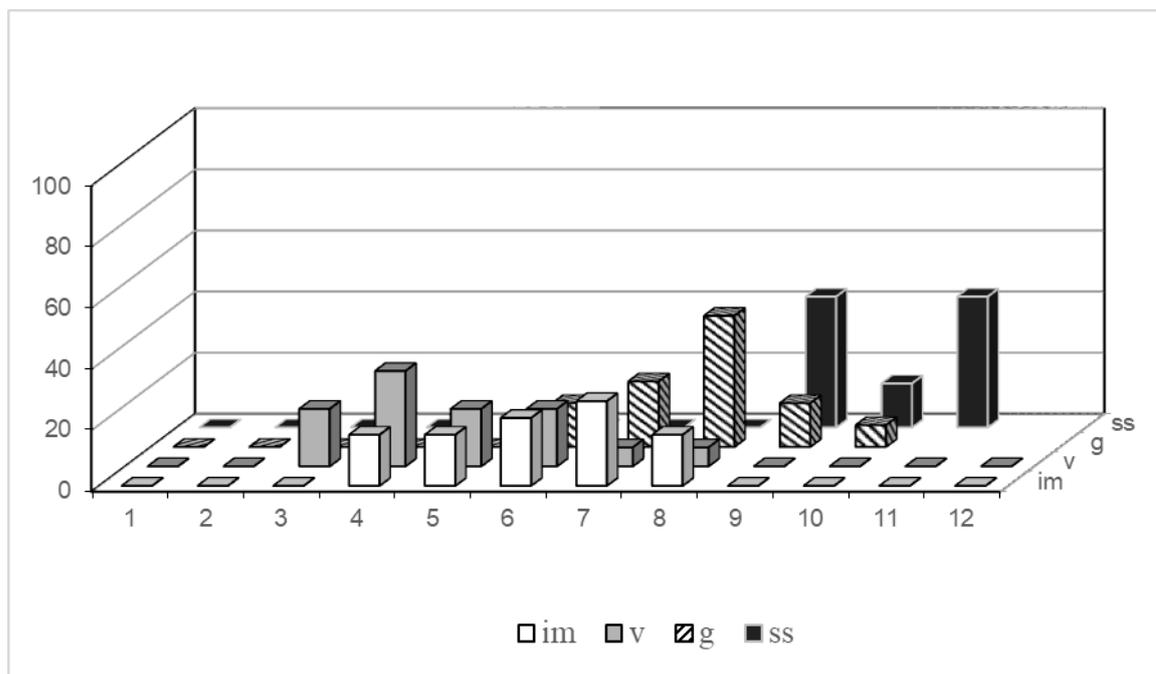


Рисунок 2. Распределение по классам признака календарный возраст растений различных онтогенетических состояний в широколиственном лесу (5 ЦП)

Примечание: по оси абсцисс – календарный возраст растений (годы); по оси ординат – доли особей различных онтогенетических групп (%)

Note: along the vertical axis – calendar age (years); along the horizontal axis – shares of individuals of different ontogenetic groups (%)

Figure 2. Class distribution of the trait calendar age of plants of various ontogenetic states in a broadleaf trees forest (CP 5)

Note: along the vertical axis – calendar age (years); along the horizontal axis – shares of individuals of different ontogenetic groups (%)

Во всех ценопопуляциях был выявлен нормальный тип онтогенетической структуры. На лугах различного типа увлажнения и на поляне широколиственного леса формировался центрированный тип онтогенетического спектра (рис. 3). Согласно классификации [1], ценопо-

пуляции характеризовались как «молодые» или «переходные» (табл. 3). Под пологом широколиственного леса отмечался левосторонний тип спектра. Ценопопуляция по классификации Животовского [1] также характеризовалась как «молодая». В то же время,

под пологом леса левосторонний тип спектра формировался на основе медленно развивающихся растений. Высокая доля прегенеративных растений связана с затруднением перехода особей к половому размножению, в то время как в условиях открытых сообществ высокая доля растений прегенеративного

периода связана с успешными процессами поддержания численности в процессе полового размножения. Именно последние ценопопуляции могут быть рекомендованы для дальнейшего изучения в ресурсоэкологических целях.

Таблица 3. Демографические показатели ценопопуляций *S. officinalis*
Table 3. Demographic indicators of cenopopulations of *S. officinalis*

Местообитание Habitat	Показатели Indicators		Тип ценопопуляции Type of cenopopulation	Календарный возраст средневозрастных генеративных растений (g2) Calendar age of mature generative plants (g2)	Экологическая плотность Ecological density
	Дельта Delta	Омега Omega			
1 CP	0,392	0,691	Переходная Transitional	6,5	4,1
2 CP	0,282	0,339	Молодая Young	4,5	3,6
3 CP	0,443	0,627	Переходная Transitional	5,0	5,2
4 CP	0,211	0,501	Молодая Young	6,0	7,3
5 CP	0,245	0,438	Молодая Young	8,0	2,1

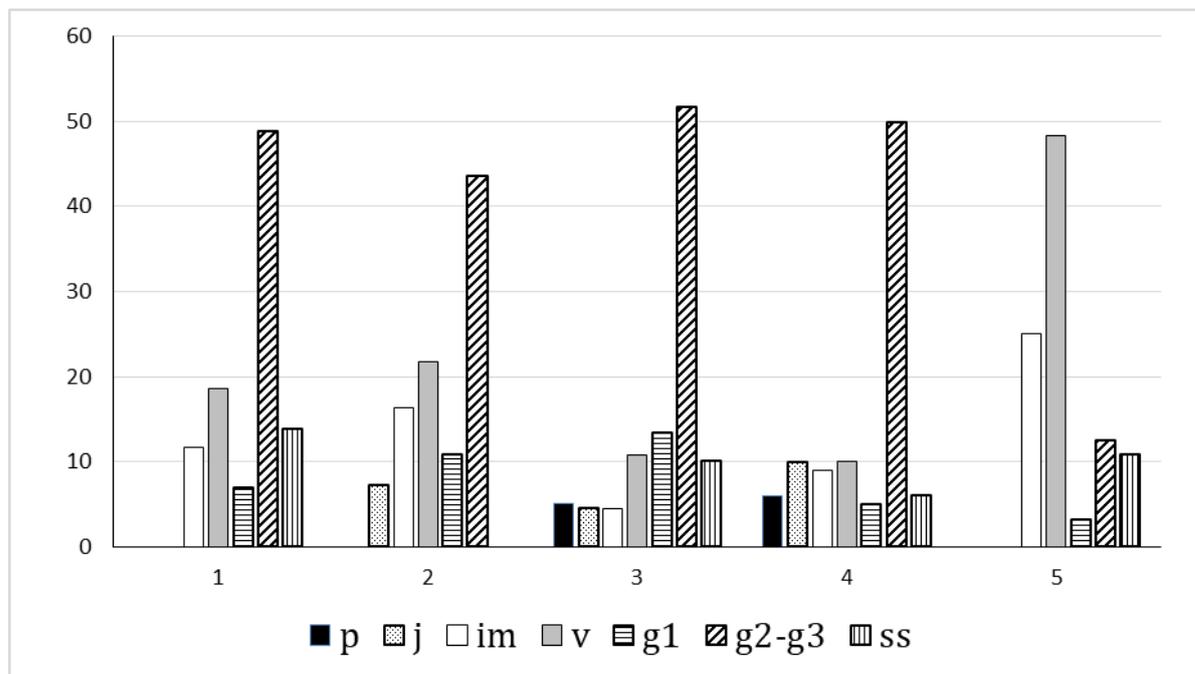


Рисунок 3. Онтогенетическая структура *S. officinalis*

Примечание: по оси абсцисс – онтогенетические спектры; по оси ординат – доли участия (%) растений определенных онтогенетических групп. Местообитания; 1. степенный луг Бугульминского района; 2. поляна широколиственного леса Бугульминского района; 3. степенный луг на склоне Апастовского района; 4. пойменный луг Медведевского района; 5. широколиственный лес Чистопольского района

Figure 3. Ontogenetic structure of *S. officinalis*

Note: along the vertical axis – ontogenetic spectra; along horizontal axis – percentage of participation (%) of plants of certain ontogenetic groups. Habitat; 1. steppe meadow (Bugulminskiy district); 2. Broad-leaf tree forest glade (Bugulminskiy district); 3. steppe meadow on slope (Apastovskiy district); 4. floodplain meadow (Medvedevskiy district); 5. Broad-leaf tree forest (Chistopolskiy district)

В существующей классификации онтогенетической структуры ценопопуляции заложен как принцип развития (последовательный переход из одного онтогенетического состояния в другой), так и принцип соответствия биолого-экологического потенциала вида условиям биоценоза. Устойчивое состояние популяции

определяется не столько динамическими процессами, которые в них протекают, сколько процессами, происходящими в растительных сообществах [9]. Однако, анализ динамических процессов позволяет выявить механизм адаптации к изменяющимся условиям среды, причины, определяющие становление

той или иной онтогенетической структуры ценопопуляции. Л.А. Жуковой [2] отмечалось, что различное соотношение в ценопопуляциях классов ускоренного, нормального, замедленного развития непосредственно определяет ее онтогенетическую структуру, что, на наш взгляд, следует учитывать в классификации онтогенетических спектров. При отсутствии длительного мониторинга за развитием растений в естественных сообществах календарный возраст преобладающей онтогенетической группы позволяет судить о развитии растений. В нашем случае на лугах – формировалась молодая ценопопуляция *S. officinalis* на основе нормального класса развития особей, а в условиях широколиственных лесов формировалась молодая ценопопуляция на основе особей замедленного развития (рис. 2). Такую ценопопуляцию можно охарактеризовать как нормальную молодую замедленного развития. Высокая доля растений, не способных перейти к половому размножению не позволяет использовать такие ценопопуляции в ресурсоэкологических целях, но отражает адаптивный потенциал вида. Длительное пребывание в вегетативном состоянии является важным стратегическим признаком, направленным на сохранение вида в пределах освоенной территории [10], что важно для кровохлебки в условиях систематической смены типов растительности лесостепной зоны. О способности кровохлебки выживать в экстремальных условиях достаточно наглядно говорят результаты многолетних наблюдений за популяцией в сосняке косяничном РТ (участок ежегодного проведения полевых практик со студентами биологами КФУ, где при ухудшении режима увлажнения растения кровохлебки не развивали надземные побеги – ценопопуляция перешла в состояние покоя. Растения, переходящие в состояние покоя, определялись Л.А. Жуковой как квазисенильные. Появление надземных побегов кровохлебки с листьями идентичными растениям имматурного и виргинильного онтогенетических состояний было отмечено через

четыре года, в сезоне 2022 года, который характеризовался большим количеством выпавших осадков в первой половине вегетационного периода. Таким образом, при ухудшении эколого-ценотической обстановки для кровохлебки характерен переход особей в квазисенильное состояние. Согласно определениям [11], переход особей в квазисенильное состояние – это преобладание все усиливающегося процесса старения. Ценопопуляцию кровохлебки в сосняке косяничном можно отнести к типу регрессивных ценопопуляций, а учитывая класс развития особей – в регрессивно-квазисенильную.

Анализ онтогенетической структуры показал, что проростки и особи ювенильного онтогенетического состояния были выявлены только в условиях луговых фитоценозов с хорошим режимом увлажнения (ЦП 3, 4). Для изучения репродуктивной системы кровохлебки лекарственной была изучена семенная продуктивность вида и процесс прорастания семян. Проведенные нами исследования показали, что процесс завязывания семян отмечался во всех ценопопуляциях, приуроченных к хорошо освещенным сообществам. В пределах изученных ценопопуляций РТ такие показатели, как «Число семязачатков» (ПСП) не различались, но сам процесс формирования семян в значительной степени определялся эколого-ценотическими условиями. В популяциях РТ показатель потенциальной семенной продуктивности был почти вдвое ниже, чем аналогичный показатель в популяции пойменного луга РМЭ. В то же время, показатель «Масса ста семян» в условиях пойменного луга РМЭ был вдвое ниже, чем в популяциях РТ (табл. 4). В природных популяциях кровохлебки показатель «Масса тысячи семян» может варьировать от 1,09 до 8,33 г [8]. Исследования показали [12] наличие зависимости между массой семян и размером популяции. Однако авторами было отмечено, что данная зависимость в большей степени определяется условиями местообитания.

Таблица 4. Показатели семенной продуктивности *S. officinalis* (Ме, %)

Table 4. Indicators of seed productivity of *S. officinalis* (Me, %)

Показатели Indicators	Местообитание Habitat	Бугульма (остепненный луг) 1 ЦП Bugulma (steppe meadow) CP 1	Бугульма (поляна в широколиственном лесу) 2 ЦП Bugulma (broadleaf tree forest glade) CP 2	Апастово (остепненный луг) 3 ЦП Apastovo (steppe meadow) CP 3	Старожильск (пойменный луг) 4 ЦП Starozhilsk (floodplain meadow) CP 4	P
Число семязачатков, шт. (ПСП) Number of ovules per floret, pcs		74	76	75,5	123	1/4***, 2/4***, 3/4***
Число соцветий на цветоносном побеге, шт. Number of inflorescences on a flowering shoot, pcs		5,3	10,3	6,4	15,5	1/2*; 1/3***, 1/4***, 2/3**, 3/4***
Масса ста семян (г) Weight of one hundred seeds (g)		0,22	0,21	0,2	0,1	1/4***, 2/4***, 3/4***
Число неполноценных семян, шт. Number of defective seeds, pcs		43	30	43	91,5	1/4***, 1/2*; 2/4***, 3/4***, 1/3*

Число незрелых семян, шт.					
Number of immature seeds, pcs	12	22	17,5	20,5	1/2** 1/4**
Число полноценных семян, (РСП) шт.					
Number of good seeds	7	25	13,5	17,5	1/2***; 2/3***; 1/4***; 3/4***
Real seed productivity, pcs					
Ксп (%)					
Ratio of seed productivity (%)	9	30	17	13	
Энергия прорастания (%)					
Germination energy (%)	5	45	34	28	
Доля зараженных семян (%)					
Proportion of infected seeds (%)	11	32	20	69	
Всхожесть семян (%)					
Seed germination (%)	23	45	38	31	

Обращает внимание, что показатели семенной продуктивности ценопопуляции остепненных лугов характеризуются большим сходством, чем показатели в популяциях кровохлебки, расположенных на границе леса и луга, которые в некоторых случаях проявляли сходный тренд (табл. 4). Вероятно, условия открытых сообществ, высокая освещенность, сухость воздуха негативно влияют на реализацию репродуктивной сферы, формирование полноценных семян.

Анализируя динамику снижения семенной продуктивности можно отметить, что уже на этапе завязывания семян отмечается влияние эколого-ценотических условий. Наибольшее число нереализованных семян отмечалось на остепненном лугу в Бугульминском районе, здесь же отмечался наимень-

ший показатель признака «Число полноценных семян» (средний показатель составил 7) и самый низкий показатель Ксп 9 % (табл. 4). В то же время, в широколиственном лесу того же района отмечается наиболее высокий показатель семенной продуктивности.

Анализируя процесс прорастания семян можно отметить, что отмечался быстрый характер прорастания семян в короткий временной интервал (рис. 4). В то же время, семенам, собранным на остепненном лугу, требовался более длительный временной интервал для прорастания. Вероятно, высокая концентрация абсцизовой кислоты, синтезируемая в условиях засухи материнскими растениями, способствовала накоплению ее в семенах, замедляя их прорастание, и сдерживая развитие плесневых грибов [13].

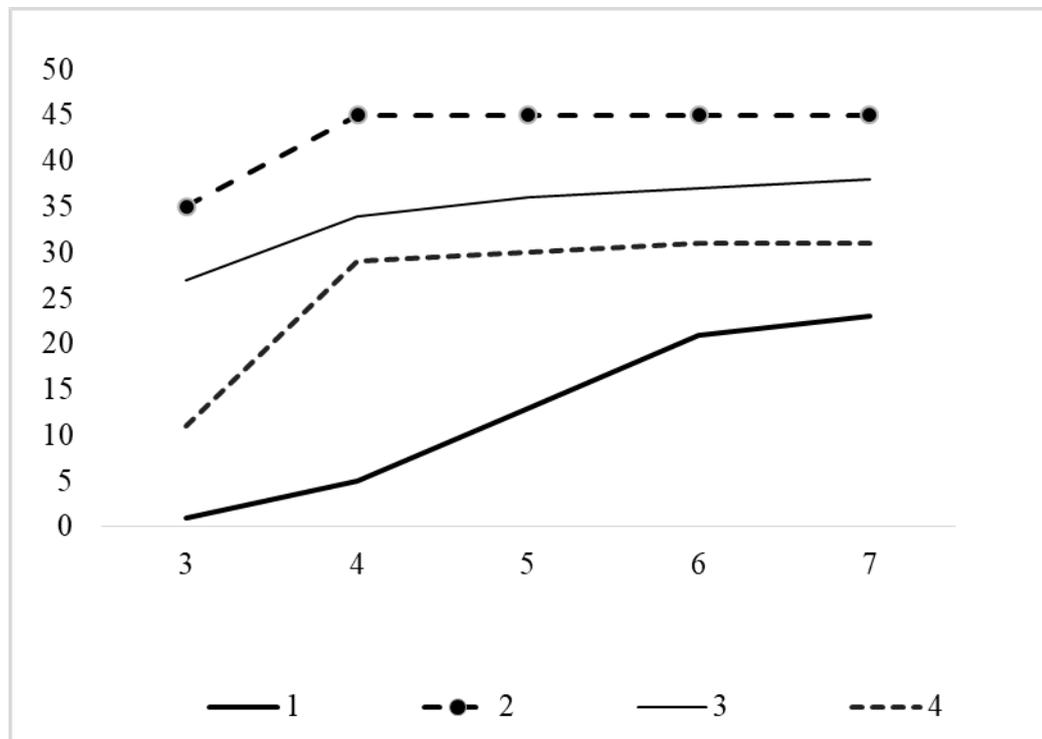


Рисунок 4. Динамика прорастания семян кровохлебки *S. officinalis*

Примечание: по оси абсцисс – сроки наблюдения (дни); по оси ординат – число проросших семян.

Местообитания: 1. остепненный луг Бугульминского района; 2. поляна широколиственного леса Бугульминского района; 3. остепненный луг на склоне Апастовского района; 4. пойменный луг Медведевского района

Figure 4. Dynamics of *S. officinalis* seed germination in the cenopopulations studied

Note: along the vertical axis – observation time (days); along the horizontal axis – number of germinated seeds.

Habitat: 1. steppe meadow (Bugulminskiy district); 2. Broad-leaf tree forest glade (Bugulminskiy district);

3. steppe meadow on slope (Apastovskiy district); 4. floodplain meadow (Medvedevskiy district)

На третий день из посаженных семян ценопопуляции остепненного луга проросло только одно семя. В других местообитаниях можно наблюдать быстрый характер прорастания семян. Энергия прорастания на третий день варьировала от 11 до 38 %. Однако, на третий и четвертый день уже фиксировали большое число пораженных семян плесневыми грибами. Наибольший показатель был характерен для растений пойменного луга. Здесь на седьмой день все растения, которые не проросли, были поражены плесневыми грибами. Химический состав семян (фенольные соединения и др.) способствуют их защите от грибных и бактериальных заболеваний [8]. Вероятно, быстрое прорастание семян и активизация физиологических процессов – механизм защиты от патогенных вредителей. В 2022 г., который характеризовался высокими показателями выпавших осадков ювенильные растения были нами обнаружены везде, кроме широколиственного леса.

В целом можно отметить невысокие показатели семенной продуктивности вида и высокую зависимость процесса от эколого-ценотических условий. Вероятно, это одна из причин существенного уменьшения активности вида в пределах освоенного ландшафта. В то же время, способность *S. officinalis* выживать при смене типов растительности отражает ее высокую способность удерживать занятую территорию.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, что онтогенетическая структура ценопопуляции определялась особенностью развития растений в конкретных эколого-ценотических условиях. Один и тот же тип ценопопуляции был получен на основе прямо-противоположных процессов. Так, молодая ценопопуляция в широколиственном лесу была сформирована в процессе замедленного развития растений (молодая, замедленного развития), а на пойменном лугу – в процессе интенсивного полового размножения, что способствовало накоплению в ценопопуляции молодых растений имматурного и виргинильного онтогенетических состояний (молодая, нормального развития). При ухудшении освещенности и влажности отмечался переход особей в неактивное состояние и формирование регрессивно-квазисенильной ценопопуляции. Использование в классификации онтогенетической структуры особенности развития растений позволяет объяснить механизм их формирования.

Адаптация вида в условиях трансформированного ландшафта связана с биологической особенностью вида – вариабельностью способов поддержания численности популяции, что позволяет выживать как на открытых луговых фитоценозах, так и лесных фитоценозах. В оптимальных условиях отмечается быстрый переход к половому размножению и длительное пребывание в средневозрастном генеративном состоянии (3–9 лет), что обеспечивает пополнение ценопопуляции новыми особями. В условиях лесных фитоценозов для вида характерно удержание территории за счет вегетативного разрастания и размножения или же перехода в состояние покоя при ухудшении условий.

В изученных популяциях кровохлебки в РТ наиболее стабильным оставался показатель «Масса ста семян». Семенная продуктивность определялась

эколого-ценотическими условиями. Минимальные показатели семенной продуктивности отмечались на остепненном лугу; коэффициент семенной продуктивности (Ксп) составил 9 %, низким был показатель «Энергия прорастания» – 5 % и показатель «Всхожесть» – 23 %. Максимальные показатели семенной продуктивности отмечались на поляне широколиственного леса того же района; (Ксп) составил 30 %, «Всхожесть» 45 %.

Реализация репродуктивного потенциала *S. officinalis* даже в экстремальных условиях, выживание вида в различных типах растительности позволяют предположить, что территория РТ входит в ценоареал вида, что позволяет планировать на территории республики создание плантационных посадок.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета (ПРИОРИТЕТ-2030).

ACKNOWLEDGMENT

This paper has been supported by the Kazan Federal University Strategic Academic Leadership Programme (PRIORITY-2030).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Osmanova G.O., Zhivotovsky L.A. The ontogenetic spectrum as an indicator of the status of plant populations // *Biology bulletin*. 2020. V. 47. P. 141–148. DOI: 10.1134/s1062359020020053
- Жукова Л.А., Комаров А.С. Поливариантность онтогенеза и динамика ценопопуляций растений // *Журнал общей биологии*. 1990. Т. 51. N 4. С. 450–461.
- Кучеров И.Б., Щукина К.В., Татаренко И.В. и др. Кровохлебковые пойменные луга на евросибирском долготном градиенте // *Ботанический журнал*. 2020. Т. 105. N 12. С. 1169–1190. DOI: 10.31857/S0006813620120133
- Коломыц Э.Г. Углеродный баланс и устойчивость лесных экосистем при глобальных изменениях климата. Экологические ресурсы бореальных лесов. Москва: Наука, 2020. 424 с.
- Logofeta D.O., Ulanovab N.G. From Population Monitoring to a Mathematical Model: A New Paradigm of Population Research // *Biology Bulletin Reviews*. 2022. V. 12. N 3. P. 279–303. DOI: 10.1134/S2079086422030057
- Курдюкова О.Н., Тыщук Е.П. Методика определения семенной продуктивности сорных растений // *Растительные ресурсы*. 2019. Т. 55. N 1. С. 130–138. DOI: 10.1134/S0033994619010072
- Holloway P., Matheke G. Seed Germination of *Burnet*, *Sanguisorba* spp. // *Native Plants Journal*. 2003. V. 4. Iss. 2. P. 95–99. DOI: 10.3368/npj.4.2.95
- Bunse M., Stintzing F., Kammerer D. Morphology and phytochemistry of *Sanguisorba officinalis* L. seeds (Rosaceae) // *Journal of Applied Botany and Food Quality*. 2021. V. 94. P. 92–98. DOI: 10.5073/JABFQ.2021.094.011
- Сулей М. Жизнеспособность популяций: природоохранные аспекты. Москва: Мир, 1989. 224 с.
- Körner C. Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems // *Alpine Plant Life*. 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-59538-8

11. Смирнова О.В., Чистякова А.А., Истомина И.И. Квазисенильность как одно из проявлений фитоценотической толерантности растений // Журнал общей биологии. 1984. Т. 45. N 2. С. 216–225.
12. Musche M., Settele J., Durka W. Genetic population structure and reproductive fitness in the plant *Sanguisorba officinalis* in populations supporting colonies of an endangered Maculinea butterfly // International Journal of Plant Sciences. 2008. V. 169. N 2. P. 253–262. DOI: 10.1086/524112
13. Бабоша А.В. Влияние абсцизовой кислоты на восприимчивость листьев пшеницы к возбудителю мучнистой росы *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* // Журнал сибирского федерального университета. Биология. 2020. Т. 13. Вып. 2. С. 164–172. DOI: 10.17516/1997-1389-0316

REFERENCES

1. Osmanova G.O., Zhivotovsky L.A. The ontogenetic spectrum as an indicator of the status of plant populations. *Biology bulletin*, 2020, vol. 47, pp. 141–148. DOI: 10.1134/s1062359020020053
2. Zhukova L.A., Komarov A.S. Polyvariance of ontogeny and dynamics of plant coenopopulations. *Zhurnal obshchei biologii* [Journal of General Biology]. 1990, vol. 51, no. 4, pp. 450–461. (In Russian)
3. Kucherov I.B., Shchukina K.V., Tatarenko I.V., et al. Burnet grass floodplain meadows on the Euro-Siberian longitudinal gradient. *Botanical journal*, 2020, vol. 105, no. 12, pp. 1169–1190. (In Russian) DOI: 10.31857/S0006813620120133
4. Kolomyts E.G. *Uglerodnyi balans i ustoichivost' lesnykh ekosistem pri global'nykh izmeneniyakh klimata. Ekologicheskie resursy boreal'nykh lesov* [Carbon balance and sustainability of forest ecosystems under global climate change. Ecological resources of boreal forests]. Moscow, Nauka Publ., 2020, 424 p. (In Russian)

5. Logofeta D.O., Ulanovab N.G. From Population Monitoring to a Mathematical Model: A New Paradigm of Population Research. *Biology Bulletin Reviews*, 2022, vol. 12, no. 3, pp. 279–303. DOI: 10.1134/S2079086422030057
6. Kurdyukova O.N., Tyshchuk Ye.P. Methodology for determining the seed productivity of weeds. *Plant Resources*, 2019, vol. 55, no. 1, pp. 130–138. (In Russian) DOI: 10.1134/S0033994619010072
7. Holloway P., Matheke G. Seed Germination of Burnet, *Sanguisorba* spp. *Native Plants Journal*, 2003, vol. 4, iss. 2, pp. 95–99. DOI: 10.3368/npj.4.2.95
8. Bunse M., Stintzing F., Kammerer D. Morphology and phytochemistry of *Sanguisorba officinalis* L. seeds (Rosaceae). *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 2021, vol. 94, pp. 92–98. DOI: 10.5073/JABFQ.2021.094.011
9. Sulei M. *Zhiznesposobnost' populyatsii: prirodookhrannye aspekty* [Population viability: conservation aspects]. Moscow, Mir Publ., 1989, 224 p. (In Russian)
10. Körner C. Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems. *Alpine Plant Life*, 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-59538-8
11. Smirnova O.V., Chistyakova A.A., Istomina I.I. Quasi-senility as one of the manifestations of plant phytocenotic tolerance. *Zhurnal obshchei biologii* [Journal of general biology]. 1984, vol. 45, no. 2, pp. 216–225. (In Russian)
12. Musche M., Settele J., Durka W. Genetic population structure and reproductive fitness in the plant *Sanguisorba officinalis* in populations supporting colonies of an endangered Maculinea butterfly. *International Journal of Plant Sciences*, 2008, vol. 169, no. 2, pp. 253–262. DOI: 10.1086/524112
13. Babosha A.V. The effect of abscisic acid on the susceptibility of wheat leaves to the powdery mildew pathogen *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*. *Journal of the Siberian Federal University*, 2020, vol. 13, iss. 2, pp. 164–172. (In Russian) DOI: 10.17516/1997-1389-0316

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Авторы совместно принимали участие в сборе, анализе и подготовке материала. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors jointly participated in the collection, analysis and preparation of the material. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Светлана А. Дубровная / Svetlana A. Dubrovnyaya <http://orcid.org/0000-0001-5700-4203>

Ландыш З. Хуснетдинова / Landysh Z. Khusnetdinova <http://orcid.org/0000-0002-7867-2013>

Ольга А. Тимофеева / Olga A. Timofeeva <http://orcid.org/0000-0003-4921-458X>

Оригинальная статья / Original article

УДК 581.135.51: 547.913

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-2



Изменчивость компонентного состава эфирного масла *Artemisia salsoloides* Willd. из природных популяций флоры Дагестана

Фазина А. Вагабова, Аслан М. Алиев, Гаджи К. Раджабов, Максим М. Маллалиев

Горный ботанический сад Дагестанского федерального исследовательского центра РАН, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Фазина А. Вагабова, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, лаборатория фитохимии и медицинской лаборатории, Горный ботанический сад ДФИЦ РАН; 365000 Россия, г. Махачкала, ул. Ярагского, 75.

Тел. +79288334151

Email fazina@mail.ruORCID <https://orcid.org/0000-0003-3315-3874>

Формат цитирования

Вагабова Ф.А., Алиев А.М., Раджабов Г.К., Маллалиев М.М. Изменчивость компонентного состава эфирного масла *Artemisia salsoloides* Willd. из природных популяций флоры Дагестана // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 1. С. 18-29. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-2

Получена 22 декабря 2023 г.

Прошла рецензирование 9 января 2024 г.

Принята 15 января 2024 г.

Резюме

Цель – изучить изменчивость накопления и компонентного состава эфирного масла из надземной части малоизученного вида – полыни солянковидной (*Artemisia salsoloides* Willd.) в зависимости от абиотических факторов среды (высота над уровнем места произрастания).

Надземная часть *A. salsoloides* собрана в фазу цветения в четырех дагестанских природных популяциях для получения эфирного масла методом Клевенджера. Для определения компонентного состава полученных образцов эфирных масел полыни солянковидной использовался хромато-масс-спектрометрический анализ. Идентификацию компонентов проведена с помощью библиотек масс-спектров NIST08 и FFNSC.

В целом в образцах эфирного масла идентифицировано 55 соединений, где монотерпеноиды составляют 59,92 % – 75,98 %, сесквитерпеноиды – от 23,24 % до 37,81 %. При этом, выявлены 15 мажорных соединений. Так, надо отметить большой разброс значений монотерпеноидов: *β*-пинена, транс-*β*-оцимена, *цис*-алло-оцимена, бензен, 2,4-пентадинил, а среди сесквитерпеноидов – *α*-копаен, *β*-сесквифиландрен, спатуленол. Количественный выход эфирного масла в изучаемых образцах варьирует в пределах от 0,68 % до 1,36 % от воздушно-сухого сырья в зависимости от места произрастания вида. Путем кластерного анализа по компонентному составу изученных эфирных масел выделены четыре обособленные популяции *A. salsoloides*.

Впервые изучен состав эфирного масла надземной части дикорастущих дагестанских образцов *A. salsoloides* в зависимости от абиотических факторов (высота над уровнем моря) среды. Полученные результаты по компонентному составу эфирного масла образцов *A. salsoloides* показали наличие ряда ценных соединений, что позволяет использовать эфирные масла в качестве их источников.

Ключевые слова

Полынь солянковидная, *Artemisia salsoloides* Willd., надземная часть, эфирное масло, популяция, ГХ/МС, терпеноиды, высотный градиент.

Variability of the component composition of the essential oil of *Artemisia salsoloides* Willd. from natural populations of the flora of Dagestan

Fazina A. Vagabova, Aslan M. Aliev, Gadzhi K. Radzhabov and Maxim M. Mallaliev

Mountain Botanical Garden, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

Principal contact

Fazina A. Vagabova, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Phytochemistry and Medical Laboratory, Mountain Botanical Garden, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences; 75 Yaragsky St, Makhachkala, Russia 365000.
Tel. +79288334151
Email fazina@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3315-3874>

How to cite this article

Vagabova F.A., Aliev A.M., Radzhabov G.K., Mallaliev M.M. Variability of the component composition of the essential oil of *Artemisia salsoloides* Willd. from natural populations of the flora of Dagestan. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(1):18-29. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-2

Received 22 November 2023

Revised 9 January 2024

Accepted 15 January 2024

Abstract

To study the variability of the gathering locality and component composition of essential oil from the aerial part of a little-studied species – *Artemisia salsoloides* Willd. depending on abiotic environmental factors, such as height above the level of the place of growth.

Aerial parts of *A. salsoloides* were collected during the flowering phase in four Dagestan natural populations to obtain essential oil using the Clevenger method. To determine the component composition of the samples obtained of essential oils of *A. salsoloides*, chromatography-mass spectrometric analysis was used. The components were identified using the NIST08 and FFNSC mass spectral libraries.

In total, 55 compounds were identified in the essential oil samples, where monoterpenoids account for 59.92 % – 75.98 % and sesquiterpenoids – for 23.24 % to 37.81 %. At the same time, 15 major compounds were identified. Thus, it should be noted that there was found to be a wide range of values for monoterpenoids: β -pinene, trans- β -ocimene, *cis*-allo-ocimene, benzene, 2,4-pentadienyl, and among sesquiterpenoids – α -copaene, β -sesquiphilandrene, spathulenol. The quantitative yield of essential oil in the studied samples varied from 0.68 % to 1.36 % of air-dried raw materials, depending on the growth location of the species. Four separate populations of *A. salsoloides* were identified by means of cluster analysis based on the component composition of the studied essential oils. For the first time, the composition of the essential oil of the aerial part of wild Dagestan samples of *A. salsoloides* was studied as depending on an abiotic factor (height above sea level) of the environment. The results obtained of the component composition of the essential oil of *A. salsoloides* samples showed the presence of a number of valuable compounds, which allow the use of essential oils as their sources.

Key Words

Artemisia salsoloides Willd., aerial part, essential oil, population, GC/MS, terpenoids, altitude gradient.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема поиска растительных ресурсов для создания лекарственных средств остается актуальной до сих пор.

Полыни – дву- и многолетние (реже однолетние) травы и полукустарники высотой 3–150 см. Род *Artemisia* L. (*Asteraceae*) включает более 500 видов растений, произрастающих в диком виде в умеренном северном полушарии Земли [1–3]. Полыни как лекарственные растения широко используются в традиционной медицине [4–13]. Кроме того, разные виды полыней используются и как пряные растения; сырье для производства различных напитков (чай, вина, крепкие алкоголи), для получения эфирных масел, применяемых в парфюмерии и косметике; кормовые растения; как песокоукрепители; сорные растения. Полыни добились повышенного фитохимического внимания из-за широкого спектра биологической активности, благодаря наличию нескольких классов активных соединений, таких как терпеноиды эфирного масла, фенольные соединения, флавоноиды и сесквитерпеновые лактоны и другие [1–3; 10; 14; 15]. Представители рода *Artemisia*, прежде всего, характеризуются большим содержанием эфирного масла, которое проявляет широкий спектр фармакологических свойств, а именно: антимикробную, антибактериальную, инсектицидную, антифунгальную, антиоксидантную, кокцидиостатическую, антирадикальную, цитотоксичную, антигерпервирусную, фитотоксичную активности и ряд других свойств [2; 3; 11–25]. Эти свойства обусловлены синергетическим действием различных компонентов эфирного масла. Надо отметить, что химический состав эфирных масел из рода полынь тщательно изучен только у некоторых видов. При этом показано, что наблюдаются внутривидовые различия в терпеновых соединениях эфирных масел полыней, которые связаны с различными факторами: онтогенез растений, места произрастания, время, сезон сбора, удобрения и pH почвы, выбор и этап условий сушки, географическое положение, высота над уровнем моря, хемотип или подвид, выбор части растения или генотипа, или метод экстракции масла [7; 15; 21; 26].

Род *Artemisia* во флоре Дагестана является одним из самых распространенных во флоре Респуб-

лики Дагестан, который представлен 21 видом, и обладает большим потенциалом неизученных биологически активных веществ [27].

Artemisia salsoloides Willd. – восточно-европейско-южносибирский вид, встречается в диком виде в Восточном Кавказе, Юго-Восточной Европе, Северной Азии. В Дагестане – на известняковых склонах, в среднем горном поясе [27]. Данный вид полыни занесен в Красные книги России, Дагестана и некоторых других регионов [28]. В Дагестане *A. salsoloides* является редким видом (общая численность по Дагестану неизвестна), которая распространена фрагментарно по предгорьям в полосе аридного редколесья и аридных котловинах Внутреннегорного Дагестана. Петрофит, кальцефит [28]. Цветет в июне–июле. По мнению авторов, для сохранения полыни солянковой в Дагестане необходимо создание особо охраняемой природной территории на хребте Чонкатау [28]. Полынь солянковая – слабо изученный вид с точки зрения химического состава, и имеется лишь небольшое число работ, посвященных исследованию содержания флавоноидов, эфирного масла, антимикробной активности эфирного масла, витаминов, микроэлементов [29–32]. Ряд работ посвящен исследованию биологии вида [28; 33].

Настоящая статья является первой в изучении компонентного состава эфирного масла полыни солянковидной во флоре Дагестана, в которой сделана попытка оценки накопления и компонентного состава эфирного масла в образцах *A. salsoloides*, собранных в разных дагестанских природных популяциях, а также изменчивости содержания основных компонентов эфирного масла от места произрастания растения (абиотические условия среды, связанные с фактором высоты над уровнем моря) с целью поиска образцов растений с высоким выходом эфирного масла с наиболее ценными компонентами с точки зрения фармакологической активности.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Надземная часть *A. salsoloides* нами была собрана в период цветения в 2014 году в 4-х географических точках Дагестана (Россия) (табл. 1).

Таблица 1. Сравнительная оценка по накоплению эфирного масла *Artemisia salsoloides* Willd. в зависимости от места произрастания

Table 1. Comparative data on the gathering locality and composition of essential oil of *Artemisia salsoloides* Willd.

Место и время сбора Place and time of collection	Координаты сбора Collection coordinates	Высота над уровнем моря, м Altitude above sea level, m	Содержание эфирного масла, % Essential oil content, %
Окрестности села Чиркей, восточный склон, 10.07.2014 Vicinity of the village of Chirkey, 10.07.2014	СШ-42°59'33// ВД-46°54'46// NL-42°59'33// EL-46°54'46//	450	0,68 желтый цвет yellow
Губденский перевал, южный склон хребта Чонкатау, за селом Губден, 07.08.2014 Gubdensky Pass, southern slope of Chonkatau ridge, behind the village of Gubden, 07.08.2014	СШ-42°32'14,5// ВД-47°28'40// NL-42°59'33// EL-46°54'46//	800	1,36 желтый с зеленоватым оттенком yellow with a greenish tint
Окрестности села Ботлих, юго-восточный склон отрога Андийского хребта, 01.08.2014 Vicinity of the village of Botlikh, 01.08.2014	СШ-42°40'46// ВД-46°17'20// NL-42°59'33// EL-46°54'46//	1050	0,70 желтый цвет yellow

Окрестности села Цудахар, юго-западный склон хребта Чакулабек, 07.08.2014 Vicinity of the village of Tsudahar, southwestern slope of Chakulabek ridge, 07.08.2014	СШ-42°19'48// ВД-47°09'54// NL-42°59'33// EL-46°54'46//	1300	0,81 светло-желтый цвет light yellow
--	--	------	--

Высушенные до воздушно-сухой массы в проветриваемом помещении вдали от света образцы полыни солянковидной были подвергнуты гидродистилляции на аппарате Клевенджера для получения эфирного масла в течение 2 часов. Выход эфирного масла определяли в % (объемных процентах) в пересчете на массу воздушно-сухого сырья [34].

Компонентный анализ полученного образца эфирного масла проводили на хромато-масс-спектрометре Shimadzu GCMS-QP2010plus (Japan) на колонке Supelco SLB TM – 5 ms (30 м×0,25 мм×0,25 мкм) в режиме «сплит». В качестве газа-носителя использовался гелий высокой чистоты (99,9999 %) с расходом 1 мл мин. Температуру колонки повышали от 60 °С (время выдержки 4 мин) до 150 °С со скоростью 10 °С/мин, затем до 280 °С со скоростью 5 °С/мин. Температура инжектора 280 °С, интерфейса и детектора 250 °С. Ионизация осуществлялась электронным ударом с энергией электронов 70 эВ. Ток катодной эмиссии 150 мкА, диапазон регистрируемых ионов 45–500 м/з. Идентификацию компонентов проводили с помощью библиотек масс-спектров NIST08 и FFNSC. Перед анализом навеску разбавляли н-гексаном в 500 раз, затем 1 мл разбавленной навески вводили с разделением 1:40 [35].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как показывают результаты анализа (табл. 2), образцы наземной части *A. salsoloides* варьировали как по содержанию эфирного масла (от 0,68 % до 1,36 % от воздушно-сухого сырья), так и по цвету его (от зеленовато-желтого до желтого). Максимальное накопление эфирного масла наблюдается в образце полыни солянковидной, собранной в окрестностях села Цудахар,

Дагестан, Россия). У большинства видов пряно-ароматических растений, экологический оптимум произрастания которых приурочен к сухим известняковым склонам в среднем горном поясе, выход эфирного масла снижается вдоль высотного градиента. В случае с данным видом полыни регрессионный анализ выявил несущественное влияние высотного фактора на выход эфирного масла ($r = -0,04$). Хромато-масс-спектральный анализ идентифицировал для всех образцов *A. salsoloides* всего 55 соединений, при этом в каждой популяции определено разное число компонентов (табл. 2).

Масс-спектры некоторых типичных компонентов эфирного масла *A. salsoloides* приведены на рисунке 1.

Исследования показали, что в компонентном составе летучих веществ растения *A. salsoloides* монотерпеноиды превышают по содержанию сесквитерпеноиды во всех пунктах сбора (59,92 % – 75,98 % и 23,24 % – 37,81 %, соответственно). Интересно отметить, что наибольший разброс в содержании монотерпеноидов и сесквитерпеноидов наблюдается в Губденской и Цудахарской популяциях, меньший в образцах, собранных в окрестностях села Чиркей. Эфирное масло изучаемого вида полыни демонстрирует 15 мажорных соединений (содержание выше 1,0 %). При этом некоторые соединения содержатся в значительном количестве в отдельных популяциях, а другие находятся в максимальном количестве в образцах всех сборов. Так, надо отметить большой разброс значений монотерпеноидов β -пинена, *транс*- β -оцимена, *цис*-алло-оцимена, бензен, 2,4-пентадинил по точкам сбора. Среди сесквитерпеноидов сильный разброс по популяциям наблюдается в случае с α -копаен, β -сесквифиладрен, спатуленол (рис. 2).

Таблица 2. Компонентный состав эфирного масла в образцах *A. salsoloides* Willd. природных популяций Горного Дагестана (Дагестан, Россия), сбор 2014 года

Table 2. Component composition of essential oil in samples of *A. salsoloides* Willd. of natural populations of mountain Dagestan (Dagestan, Russia), collection 2014

Компоненты Components	Время повторения Ret. Time					Литературные источники Literary sources
		1	2	3	4	
<i>Монотерпеноиды и их производные / Monoterpenoids and their derivatives</i>						
α -пинен / α -pinene	8,376	15,49	11,20	20,74	8,09	0,66 [32]; 7,2 [33]
камфен / camphene	8,828	0,16	0,11	0,20	0,14	4,9 [31]
сабинен / sabinene	9,430	1,18	1,25	1,26	1,00	0,83 [31]; 0,5 [33]
β -пинен / β -pinene	9,579	2,64	16,88	4,54	18,78	0,52 [31]; 6,2 [33]
мирцен / myrcene	9,821	2,47	1,54	2,60	1,21	1,4 [31]; 6,3 [33]
<i>о</i> -оцимен / <i>о</i> -ocimene	10,697	0,14	следы traces	...	0,10	
лимонен / limonene	10,838	21,07	16,37	17,21	15,78	34,8 [33]
<i>цис</i> - β -оцимен / <i>cis</i> - β -ocimene	10,922	4,76	10,00	4,21	11,31	12,0 [33]
<i>транс</i> - β -оцимен / <i>trans</i> - β -ocimene	11,168	9,49	9,59	7,45	16,01	0,3 [31]; 20 [33]
γ -терпинен / γ -terpinene	11,453	0,12	0,07	0,09	0,09	1,0 [31]; 0,2 [33]
терпинолен / terpinolene	12,041	0,19	0,09	0,13	0,10	0,2 [33]
линалоол / linalool	12,273	0,47	0,13	0,25	0,12	0,2 [31]
<i>цис</i> , <i>транс</i> -2,4,6-октатриен,	12,826	0,62	1,36	0,58	1,86	

2,6-диметил / <i>cis, trans</i> -2,4,6-octatriene, 2,6-dimethyl лимона кетон / lemon ketone	12,940	...	0,25	...	0,29	
<i>алло</i> -оцимен (4E,6Z) / <i>allo</i> -ocimene (4E,6Z)	13,039	следы traces	0,30	следы traces	0,27	0,3 [33]
<i>транс</i> -пинокарвеол / <i>trans</i> -pinocarveol	13,173	следы traces	0,08	следы traces	0,11	0,6 [31]
пинокарвон / pinocarvone	13,555	следы traces	0,05	следы traces	0,08	0,42 [31]
терпинен-4-ол / terpinen-4-ol	13,858	0,23	0,10	0,12	0,11	4,9 [31]
α -терпинеол / α -terpineol	14,099	0,34	0,16	0,17	0,19	0,8 [31]
миртенол / myrtenol	14,141	следы traces	0,06	следы traces	0,10	0,85 [31]
<i>транс</i> -карвеол / <i>trans</i> -carveol	14,486	0,21	следы traces	0,07	0,09	0,6 [33]
<i>цис</i> -изовалериат-3 гексенил / <i>cis</i> -isovalerate-3-hexenyl	14,643	следы traces	следы traces	0,07	0,05	
карвон / carvone	14,905	0,17	следы traces	следы traces	следы traces	0,1 [31]; 0,3 [33]
куркумин/ curcumin	15,501	1,61	5,49	0,23	Следы	
карвеол ацетат / carveol acetate	16,231	0,10	
Сесквитерпеноиды и их производные / Sesquiterpenoids and their derivatives						
γ -элемен / γ -elemene	16,341	0,07	0,14	0,18	0,17	
нерил ацетат / neryl acetate	16,902	0,38	0,09	...	0,06	
α -копаен / α -copaene	17,099	1,29	0,38	0,35	0,18	0,1 [31]
кариофиллен (E) / caryophyllene (E)	17,900	3,41	3,37	4,45	2,43	
сесквисабинен / sesquisabinene	18,102	следы traces	следы traces	следы traces	0,66	
β - <i>транс</i> -фарнезен / β - <i>trans</i> -farnesene	18,209	1,21	0,76	1,20	0,65	
α -гумулен / α -humulene	18,513	0,24	0,24	0,29	0,18	
<i>транс</i> -9-эпи-кариофиллен / <i>trans</i> -9-epi-caryophyllene	18,602	0,10	следы traces	следы traces	следы traces	
γ -куркумен / γ -curcumin	18,742	0,13	следы traces	0,14	1,64	
α -куркумен / α -curcumin	18,790	0,38	0,12	0,26	0,84	0,4 [33]
β - <i>транс</i> -бергамотен / β - <i>trans</i> -bergamotene	18,922	0,31	0,53	0,35	0,27	
α -зингиберен / α -zingiberene	19,031	0,39	0,21	0,39	0,23	
бициклогермакрен / bicyclogermaacrene	19,216	0,35	0,34	0,75	0,75	
<i>цис</i> - γ -бисаболен / <i>cis</i> - γ -bisabolene	19,368	0,16	0,12	0,19	следы traces	
β -сесквифелландрен / β -sesquiphellandrene	19,628	22,33	13,66	25,04	13,55	1,1 [33]
италиценовый эфир / italicene ether	19,909	0,07	
спатуленол / spathulenol	20,717	2,31	1,76	1,02	0,56	0,16 [31]; 0,8 [33]
оксид кариофиллена / oxide caryophyllene	20,855	1,08	0,91	1,04	0,41	0,15 [31]
неролидил ацетат / nerolidil acetate	21,565	0,39	0,13	0,25	0,15	
α - <i>цис</i> - <i>транс</i> -бергамотол / α - <i>cis</i> - <i>trans</i> -bergamotol	21,630	следы traces	следы traces	0,27	...	
α -мууролол / α -muurolol	21,867	0,17	0,34	0,15	0,10	
β -эудосмол / β -eudosmol	22,183	0,49	0,47	0,64	0,13	
α -бисаболол / α -bisabolol	22,604	0,77	0,37	0,85	0,23	
Неидентифицированные вещества, % Unidentified substances, %		2,68	0,98	2,27	0,76	
Идентифицированные компоненты		52	53	50	54	

Total components identified

Неидентифицированные

4 4 4 3

Total components unidentified

Монотерпеноиды, %

61,36 75,08 59,92 75,98

Monoterpenoids, %

Сесквитерпеноиды, %

35,96 23,94 37,81 23,24

Sesquiterpenoids, %

Выход эфирного масла, %

0,68 1,36 0,70 0,81

Essential oil yield, %

Примечание: 1 – Окрестности села Чиркей, h=450 метров над уровнем моря; 2 – Губденский перевал,

h=800 метров над уровнем моря; 3 – Окрестности села Ботлих, h= 1050 метров над уровнем моря;

4 – Окрестности села Цудахар, h=1300 метров над уровнем моря; «...» – отсутствует

Note: 1 – Vicinities of the village of Chirkey, h=450 meters above sea level; 2 – Gubdensky Pass, southern slope

of Chonkatau ridge, behind the village of Gubden, h=800 metres above sea level; 3 – Vicinities of the village of Botlikh,

h= 1050 metres above sea level; 4 – Vicinity of the village of Tsudahar, southwestern slope of Chakulabek ridge,

h=1300 metres above sea level; "... – absent

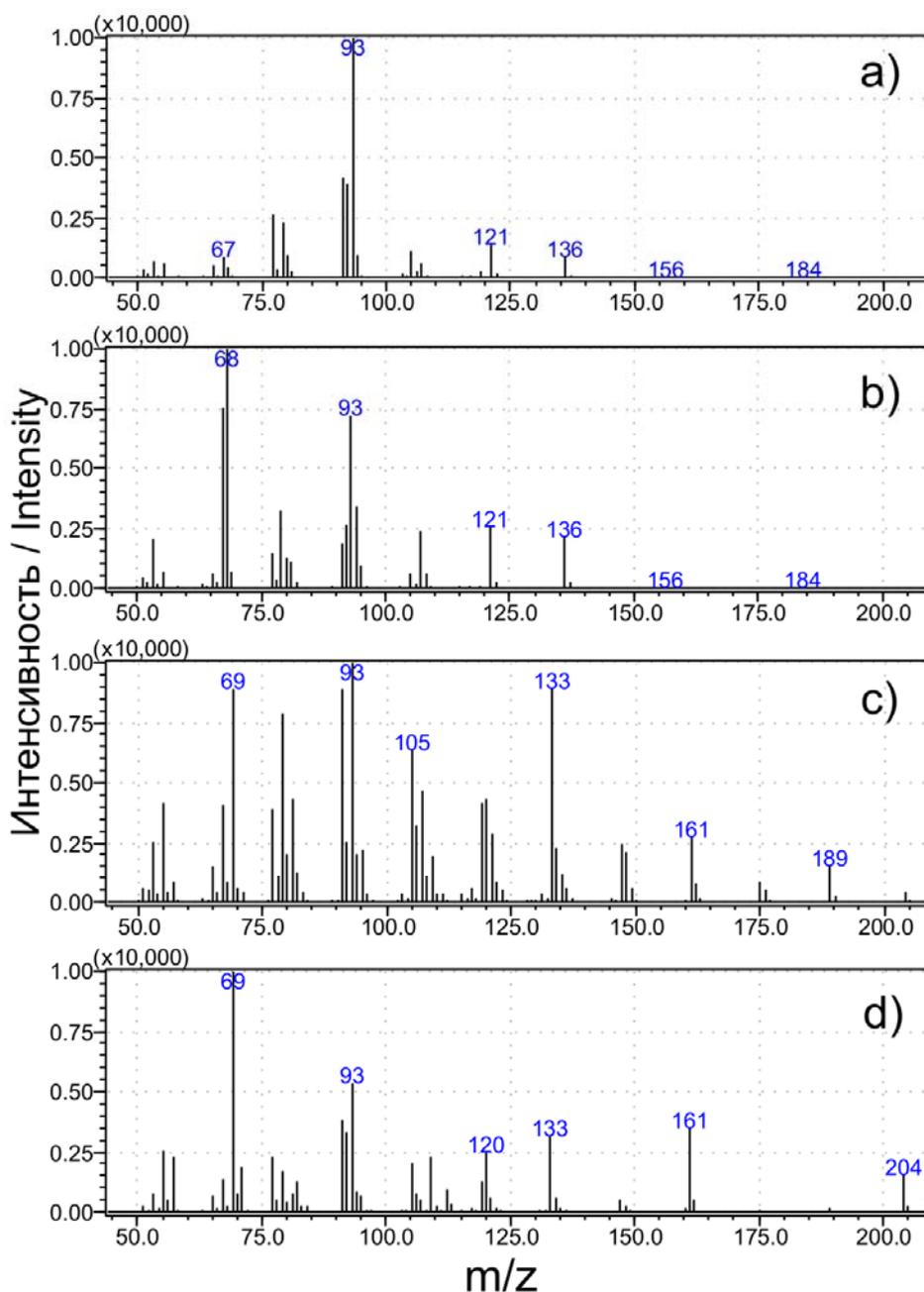


Рисунок 1. Хромато-масс-спектры: а) α-пинен; б) лимонен; в) кариофиллен; д) β-сесквифиандрен

Figure 1. Chromato-mass spectra: a) α-pinene; b) limonene; c) caryophyllene; d) β-sesquiphilandrene

Сравнение наших данных и литературных [30] показало, что компонентный состав эфирного масла дагестанских популяций полыни солянковой значительно беднее по сравнению с индийскими образцами, где обнаружено более 100 компонентов. Мажорными соединениями индийского образца полыни солянковой являются камфара (42 %), 1,8-цинеол (17,3 %), α -туйен и β -туйен (1,9 % и 3,0 %, соответственно). При этом некоторые компоненты показывают более высокий результат по сравнению с дагестанскими образцами. Так, соединения *транс*-пинокарвеол, терпинено-4-ол, α -терпинеол, миртенол, пинокарвон, γ -терпинен, камфен, гермакренбД в индийском образце эфирного масла выгодно отличаются от дагестанских образцов эфирного масла, в то время как линолол, β -пинен, сабинен находятся в пределах наших результатов, а содержание других ниже значительно или вовсе не обнаружены в

эфирном масле (α -пинен, лимонен, сесквисабинен, β -оцимен и т.д.). В то же время, при сравнении с данными [31] отмечается более бедный компонентный состав эфирного масла *A. salsoloides*, собранной в природной популяции по долинам рек Иловли и Дона (24 компонента), чем дагестанского образца. В отличие от дагестанских образцов в эфирном масле *A. salsoloides*, изученной Лапкиной и др. [31], обнаруженные соединения в большинстве своем находятся в зоне низких концентраций, кроме мажорных (лимонена, *транс*- и *цис*- β -оцименов, β -мирцена, бензилацетилена, геранилформиата, β -сесквифелландрена). Кроме того, ряд компонентов (розфуран, капиллен, геранилформиат, бензилацетилен, хамазулен) полностью отсутствуют в эфирном масле дагестанского образца в отличие от волгоградского образца [31].

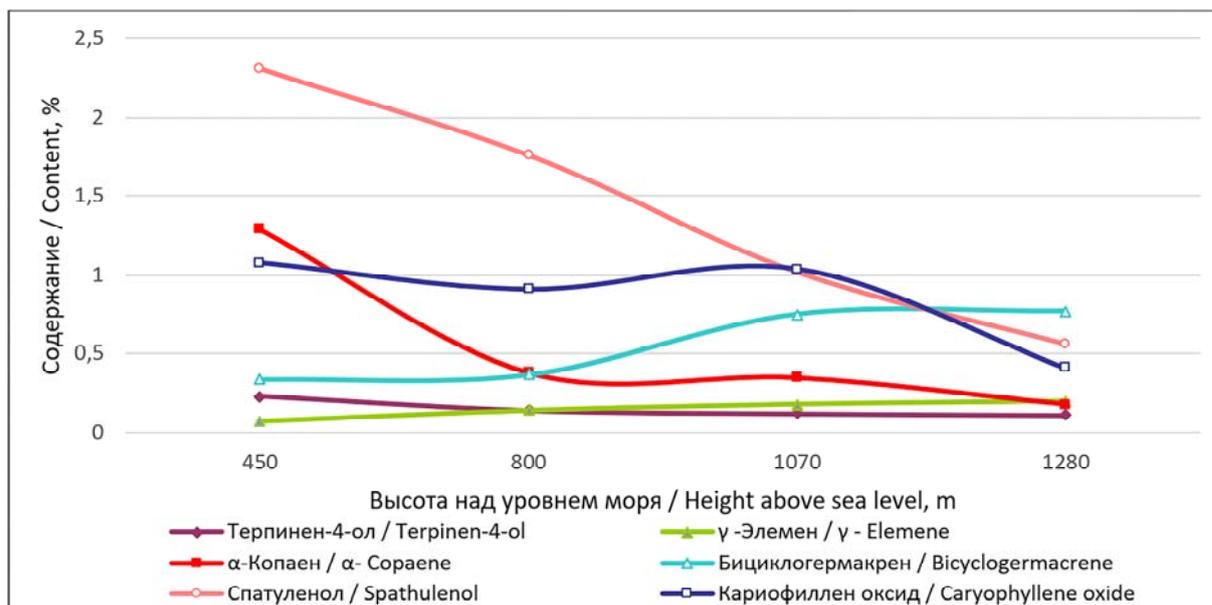


Рисунок 2. Зависимость содержания некоторых компонентов *Artemisia salsoloides* Willd. природных популяций Горного Дагестана (Дагестан, Россия) сбора 2014 года от высоты над уровнем моря места сбора сырья

Figure 2. Dependence of the content of some components of *Artemisia salsoloides* Willd. natural populations of mountain Dagestan (Russia) collected in 2014 on the height above sea level of the locality where plant materials were collected

Ранее по морфологическим признакам [28] были выделены три крупные географически изолированные популяции *A. salsoloides*: Губден (предгорная), Цудахарская и Ботлихская (внутреннегорные), из которых Цудахарская популяция является наиболее молодой и перспективной по возрастному спектру вида полыни среди изученных популяций. По нашим результатам в ходе кластерного анализа по признаку компонентного состава эфирного масла показано распределение популяций *A. salsoloides* и выделено два четко разделяющихся кластера, каждый из которых объединяет по две популяции, то есть, отмечены четыре изолированных популяций – (Губден и Цудахар) и (Чиркей и Ботлих) (рис. 3).

К настоящему времени накоплен большой материал о лечебных свойствах природных терпеноидов, синтезируемых различными растениями [36–38].

Среди компонентов эфирного масла дагестанского образца полыни солянковой можно отметить некоторые соединения, представляющие интерес для фармацевти-

ческой и парфюмерной промышленности. Так, среди мажорных соединений надо отметить следующие соединения. Например, лимонен – циклический монотерпен, представлен в виде двух изомеров: D-изомер чаще встречается в природе по сравнению с L-изомером и получают из кожуры citrusовых, так как он является основным компонентом эфирного масла citrusовых, в то время как L-лимонен в основном встречается в изобилии в сосновой хвое [39]. Среди биоактивных пищевых соединений лимонен широко используется в качестве ароматизатора в пищевых продуктах, а также в косметике, медицинских изделиях, предметах личной гигиены и чистящих средств, а также привлекает все большее внимание в качестве потенциального природного противоракового агента (может ингибировать ангиогенез и метастазирование в различные раковые клетки человека), используется в качестве инсектицида, проявляет фунгицидную и выраженную противотуберкулезную и антимикробную активность [39–41].

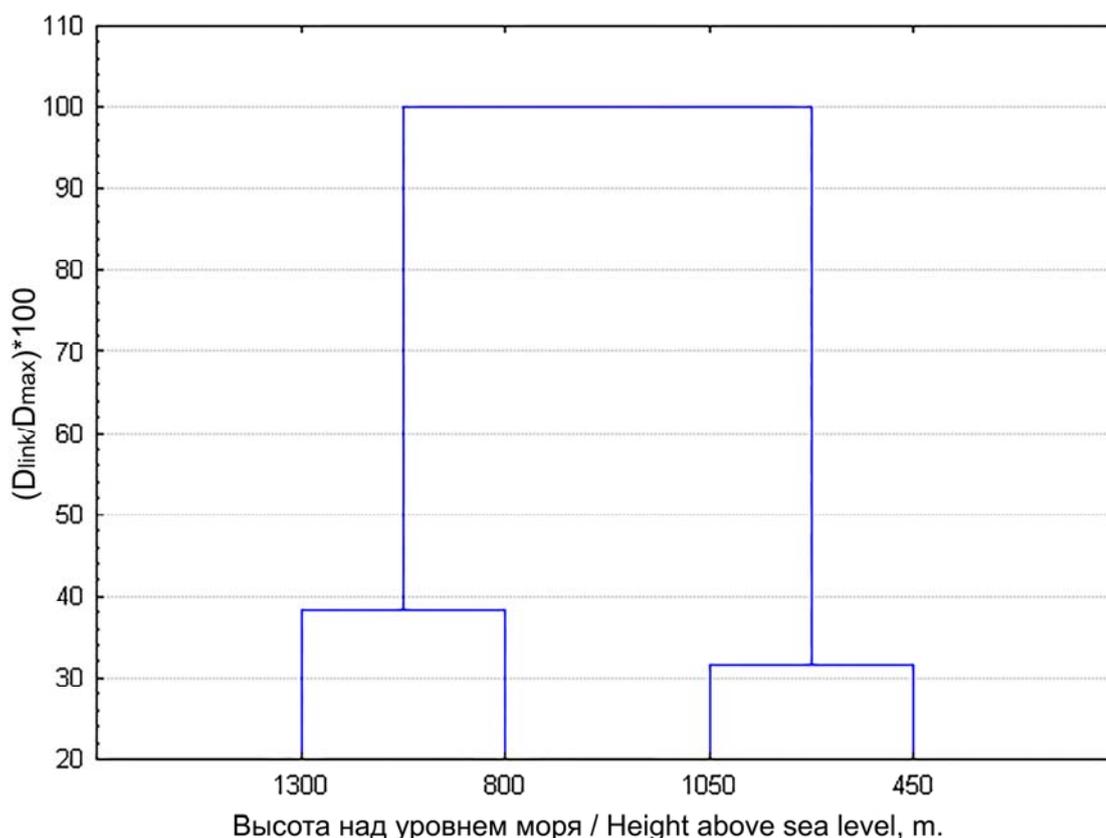


Рисунок 3. Диаграмма кластерного анализа по мажорным компонентам эфирного масла *A. salsoloides* Willd. природных популяций Горного Дагестана (Дагестан, Россия) сбора 2014 года
Figure 3. Cluster analysis diagram for major components of essential oil of *A. salsoloides* Willd. natural populations of mountain Dagestan (Russia) collected in 2014

Соединение β -сесквифеландрен – основной компонент дагестанского образца *A. salsoloides*, натуральный продукт, идентифицированный в основном в некоторых видах рода *Curcuma* L. (*Curcuma aeruginosa*, *Curcuma aromatic*, *Curcuma longa*) обладает противораковым потенциалом (при лейкемии человека, множественной миеломе и колоректального рака) [42]. β -Кариофиллен – широко распространенный в растениях сесквитерпен, присутствующий в качестве главного компонента в эфирном масле многих видов рода *Artemisia* L. Природные соединения β -кариофиллен и β -кариофилленоксид проявляют обезболивающие, противораковые, противовоспалительные, противоалкогольные, антиноцицептивные, анксиолитические, антидепрессивные, нейропротекторные, цитотоксические, антиоксидантные свойства [15; 43–47].

Итак, нами впервые изучен состав эфирного масла надземной части дикорастущих дагестанских образцов *A. salsoloides* в зависимости от абиотических факторов (высота над уровнем моря) среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, нами впервые изучен выход эфирного масла в надземной части природных дагестанских образцов *A. salsoloides* и его компонентный состав.

Содержание эфирного масла в надземной части полыни солянковидной колеблется в пределах 0,68–1,36 % от воздушно сухого сырья в зависимости от места сбора сырья. При этом не выявлена существенной линейной связи между накоплением

эфирного масла и высотой над уровнем моря (абиотические факторы).

Хромато-масс-спектрометрический анализ показал наличие в целом 55 соединений (15 мажорных) в эфирном масле *A. salsoloides*, которые представлены монотерпеноидами (59,92 % – 75,98 %) и сесквитерпеноидами (23,24 % – 37,81 %). В зависимости от абиотических факторов среды наблюдается большой разброс значений компонентов в образцах эфирного масла, собранных из надземной части природных образцов *A. salsoloides*.

Кластерный анализ по компонентному составу эфирного масла выделил четыре четко разделяющихся популяции, которые входят в два кластера.

Полученные результаты имеют несомненно важное значение с точки зрения объяснения механизмов изменчивости вторичных метаболитов в растениях с учетом абиотических факторов среды. Наличие большого количества ценных компонентов с высоким их содержанием позволяет использовать в целом растение и эфирное масло в качестве источников компонентов, пригодных для медицинской и фармацевтической промышленности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Koul B., et al. The *Artemisia* genus: A review on traditional uses, phytochemical constituents, pharmacological properties and germplasm conservation // *Journal Glycomics Lipidomics*. 2017. V. 7. N 1. P. 142. <https://doi.org/10.4172/2153-0637.1000142>

2. Pieracci Y., et al. Halophyte *Artemisia caerulescens* L.: Metabolites from In Vitro Shoots and Wild Plants // *Plants*. 2022. V. 11. N 8. P. 1081. <https://doi.org/10.3390/plants11081081>
3. Al-Wahaibi L.H.N., et al. Comparative study on the essential oils of *Artemisia judaica* and *A. herba-alba* from Saudi Arabia // *Arabian Journal of Chemistry*. 2020. V. 13. N 1. P. 2053–2065. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2018.03.004>
4. Janacković P., et al. Composition and antimicrobial activity of essential oils of *Artemisia judaica*, *A. herba-alba* and *A. arborescens* from Libya // *Archives of Biological Sciences*. 2015. V. 67. N 2. P. 455–466. <https://doi.org/10.2298/ABS141203010J>
5. Kadri A., et al. Chemical constituents and antioxidant activity of the essential oil from aerial parts of *Artemisia herba-alba* grown in Tunisian semi-arid region // *African Journal of Biotechnology*. 2011. V. 10. N 15. P. 2923–2929. <https://doi.org/10.5897/AJB10.2491>
6. Aloui Z., et al. Asteraceae *Artemisia campestris* and *Artemisia herba-alba* essential oils trigger apoptosis and cell cycle arrest in Leishman infantum promastigotes // *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2016. P. 1–15. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/9147096>
7. Zouari S., et al. Essential oil variation in wild populations of *Artemisia saharae* (Asteraceae) from Tunisia: chemical composition, antibacterial and antioxidant properties // *Botanical Studies*. 2014. V. 55. P. 1–10.
8. Ding J., et al. *Artemisia scoparia*: Traditional uses, active constituents and pharmacological effects // *Journal of Ethnopharmacology*. 2021. V. 273. Article id: 113960. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.113960>
9. Azimova Sh.S., Glushenkova A.I. Lipids, lipophilic components and essential oil from plant sources. London: Springer, 2012. V. 1. 992 p. <https://doi.org/10.1007/978-0-85729-323-7>
10. Bora K.S., Sharma A. The genus *Artemisia*: a comprehensive review // *Pharmaceutical Biology*. 2011. V. 49. N 1. P. 101–109. <https://doi.org/10.3109/13880209.2010.497815>
11. El-Massry K.F., El-Ghorab A.H., Farouk A. Antioxidant activity and volatile components of Egyptian *Artemisia judaica* L // *Food Chemistry*. 2002. V. 79. N 3. P. 331–336. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00164-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00164-4)
12. Singh H.P., et al. Chemical composition and antioxidant activity of essential oil from residues of *Artemisia scoparia* // *Food Chemistry*. 2009. V. 114. N 2. P. 642–645. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.101>
13. Chehregani A., et al. Essential oil variation in the populations of *Artemisia spicigera* from northwest of Iran: chemical composition and antibacterial activity // *Pharmaceutical Biology*. 2013. V. 51. N 2. P. 246–252. <https://doi.org/10.3109/13880209.2012.717631>
14. Kordali S., et al. Determination of the chemical composition and antioxidant activity of the essential oil of *Artemisia dracunculus* and of the antifungal and antibacterial activities of Turkish *Artemisia absinthium*, *A. dracunculus*, *Artemisia santonicum*, and *Artemisia spicigera* essential oils // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005. V. 53. N 24. P. 9452–9458. <https://doi.org/10.1021/jf0516538>
15. Rashmi T.R., Francis M.S., Murali S. Essential oil composition of *Artemisia japonica* Thunb. from Kerala // *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2014. V. 3. N 4. P. 160–163.
16. Ouchelli Y., et al. Chemical characterization of volatile extract of *Artemisia herba-alba* and study of its antioxidant, antimicrobial and antifungal activities and its inhibitory effect on corrosion of aluminum in hydrogen chloride solution // *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2022. V. 11. N 4. Article ID: e4889. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.4889>
17. Messai A., Redouane-Salah S. Dietary use of *Artemisia herba alba* Asso as a potential coccidiostat against caecal coccidiosis: haematological parameter variations // *Tropical Animal Health and Production*. 2022. V. 54. N 1. P. 28. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-03038-x>
18. Riahi L., et al. Variations in Tunisian wormwood essential oil profiles and phenolic contents between leaves and flowers and their effects on antioxidant activities // *Industrial Crops and Products*. 2013. V. 46. P. 290–296. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.01.036>
19. Feuerstein I., Danin A., Segal R. Constitution of the essential oil from an *Artemisia herba-alba* population of Spain // *Phytochemistry*. 1988. V. 27. N 2. P. 433–434. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(88\)83114-5](https://doi.org/10.1016/0031-9422(88)83114-5)
20. Efferth T., et al. Cytotoxic activity of secondary metabolites derived from *Artemisia annua* L. towards cancer cells in comparison to its designated active constituent artemisinin // *Phytomedicine*. 2011. V. 18. N 11. P. 959–969. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2011.06.008>
21. Martínez M.J.A., et al. The *Artemisia* L. genus: a review of bioactive sesquiterpene lactones // *Studies in Natural Products Chemistry*. 2012. V. 37. P. 43–65. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59514-0.00002-X>
22. Saddi M., et al. Antiherpesvirus activity of *Artemisia arborescens* essential oil and inhibition of lateral diffusion in Vero cells // *Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials*. 2007. V. 6. N 1. P. 1–7. <https://doi.org/10.1186/1476-0711-6-10>
23. Kaur S., et al. Phytotoxic effects of volatile oil from *Artemisia scoparia* against weeds and its possible use as a bioherbicide // *Industrial Crops and Products*. 2010. V. 32. N 1. P. 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.03.007>
24. Viuda-Martos M., et al. Chemical composition and antioxidant and anti-*Listeria* activities of essential oils obtained from some Egyptian plants // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2010. V. 58. N 16. P. 9063–9070. <https://doi.org/10.1021/jf101620c>
25. Bakkali F., et al. Biological effects of essential oils—a review // *Food and Chemical Toxicology*. 2008. V. 46. N 2. P. 446–475. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>
26. Amine S., et al. Influence of abiotic factors on the phytochemical profile of two species of *Artemisia*: *A. herba alba* Asso and *A. mesatlantica* Maire // *International Journal of Plant Biology*. 2022. V. 13. N 2. P. 55–70. <https://doi.org/10.3390/ijpb13020007>
27. Муртазалиев Р.А. Конспект флоры Дагестана. Махачкала: Эпоха, 2009. Т. 3. 304 с.
28. Асадулаев З.М., Маллалиев М.М. Экологическая характеристика условий произрастания и структура популяций *Artemisia salsoloides* Willd. в Дагестане // *Ботанический вестник Северного Кавказа*. 2015. N 1. С. 18–29.
29. Weyerstahl P., et al. Terpenes and Terpene Derivatives, XXVIII. New Monoterpene Derivatives from the Essential Oil of *Artemisia salsoloides* // *Liebigs Annalen der Chemie*. 1992. N 3. P. 279–281. <https://doi.org/10.1002/jlac.199219920148>

30. Weyerstahl P., et al. Volatile constituents of the essential oil and of the absolute of *Artemisia salsoloides* Willd. from Ladakh // *Flavour and Fragrance Journal*. 1992. V. 7. N 6. P. 299–305. <https://doi.org/10.1002/ffj.2730070603>
31. Лапкина Е.З. и др. Компонентный состав эфирного масла полыни солянковидной (*Artemisia salsoloides* Willd) и его антимикробные свойства // *Химия Растительного Сырья*. 2017. N 3. С. 157–162. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2017031627>
32. Гиреев Г.И., Салихов Ш.К., Луганова С.Г. Содержание микроэлементов и витаминов в растениях пастбищ Дагестана // *Растительные Ресурсы*. 2012. Т. 48. N 1. С. 99–110.
33. Рябинина Н.О. Перспективы развития сети особо охраняемых природных территорий в степной зоне юго-востока Русской равнины (на примере Волгоградской области) // *Общественно-научный Журнал «Проблемы Региональной Экологии»*. 2013. N 4. С. 236–241.
34. Государственная фармакопея Российской Федерации, 14 изд. Общие фармакопейные статьи: ОФС.1.5.2.0001.15 Эфирные масла, ОФС.1.5.3.0010.15 Определение содержания эфирного масла в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах, МЗ РФ, Москва, 2018.
35. Majdoub S., et al. Effect of pressure variation on the efficiency of supercritical fluid extraction of wild carrot (*Daucus carota* subsp. *maritimus*) extracts // *Journal of Chromatography B*. 2019. V. 1125. Article id: 121713. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2019.121713>
36. Павлов И.Н. и др. Снижение устойчивости хвойных лесов Сибири к корневым патогенам в результате современного увеличения температуры приземного слоя воздуха и почвы // *Хвойные Бореальной Зоны*. 2011. Т. 28. N 1–2. С. 47–53.
37. Старцева В.А. и др. Синтез и биологическая активность монотерпеноидов ментанового ряда // *Химия в Интерессах Устойчивого Развития*. 2009. Т. 17. N 5. С. 539–545.
38. Степаненко И.С. и др. Антимикробная активность (+)-лимонена и его производного (+)-1, 2-оксида лимонена // *Вестник Чувашского Университета*. 2014. N 2. С. 368–374.
39. Zhou J., Azrad M., Kong L. Effect of limonene on cancer development in rodent models: a systematic review // *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2021. V. 5. Article id: 725077. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.725077>
40. Ibrahim M.A., Kainulainen P., Aflatuni A. Insecticidal, repellent, antimicrobial activity and phytotoxicity of essential oils: With special reference to limonene and its suitability for control of insect pests // *Agricultural and Food Science*. 2001. V. 10. N 3. P. 243–259. <https://doi.org/10.23986/afsci.5697>
41. Kaji I., et al. Inhibition by D-limonene of experimental hepatocarcinogenesis in Sprague-Dawley rats does not involve p21ras plasma membrane association // *International Journal of Cancer*. 2001. V. 93. N 3. P. 441–444. <https://doi.org/10.1002/ijc.1353>
42. Tyagi A.K., et al. Identification of a novel compound (β -sesquiphellandrene) from turmeric (*Curcuma longa*) with anticancer potential: comparison with curcumin // *Investigational New Drugs*. 2015. V. 33. N 6. P. 1175–1186. <https://doi.org/10.1007/s10637-015-0296-5>
43. Fidyk K., et al. β -caryophyllene and β -caryophyllene oxide–natural compounds of anticancer and analgesic properties // *Cancer Medicine*. 2016. V. 5. N 10. P. 3007–3017. <https://doi.org/10.1002/cam4.816>
44. de Oliveira C.C., et al. Anticonvulsant activity of β -caryophyllene against pentylenetetrazol-induced seizures // *Epilepsy & Behavior*. 2016. V. 56. P. 26–31. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2015.12.040>
45. Jun N.J., et al. Cytotoxic activity of [beta]-Caryophyllene oxide isolated from jeju guava (*Psidium cattleianum* Sabine) leaf // *Records of Natural Products*. 2011. V. 5. N 3. P. 242–246.
46. Farzaneh M., et al. Chemical composition and antifungal effects of three species of *Satureja* (*S. hortensis*, *S. spicigera*, and *S. khuzistanica*) essential oils on the main pathogens of strawberry fruit // *Postharvest Biology and Technology*. 2015. V. 109. P. 145–151. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.06.014>
47. Liu H., et al. Neuroprotective effects of trans-caryophyllene against kainic acid induced seizure activity and oxidative stress in mice // *Neurochemical Research*. 2015. V. 40. P. 118–123. <https://doi.org/10.1007/s11064-014-1474-0>

REFERENCES

- Koul B., et al. The *Artemisia* genus: A review on traditional uses, phytochemical constituents, pharmacological properties and germplasm conservation. *Journal Glycomics Lipidomics*, 2017, vol. 7, no. 1, p. 142. <https://doi.org/10.4172/2153-0637.1000142>
- Pieracci Y., et al. Halophyte *Artemisia caerulescens* L.: Metabolites from In Vitro Shoots and Wild Plants. *Plants*, 2022, vol. 11, no. 8, p. 1081. <https://doi.org/10.3390/plants11081081>
- Al-Wahaibi L.H.N., et al. Comparative study on the essential oils of *Artemisia judaica* and *A. herba-alba* from Saudi Arabia. *Arabian Journal of Chemistry*, 2020, vol. 13, no. 1, pp. 2053–2065. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2018.03.004>
- Janacković P., et al. Composition and antimicrobial activity of essential oils of *Artemisia judaica*, *A. herba-alba* and *A. arborescens* from Libya. *Archives of Biological Sciences*, 2015, vol. 67, no. 2, pp. 455–466. <https://doi.org/10.2298/ABS141203010J>
- Kadri A., et al. Chemical constituents and antioxidant activity of the essential oil from aerial parts of *Artemisia herba-alba* grown in Tunisian semi-arid region. *African Journal of Biotechnology*, 2011, vol. 10, no. 15, pp. 2923–2929. <https://doi.org/10.5897/AJB10.2491>
- Aloui Z., et al. Asteraceae *Artemisia campestris* and *Artemisia herba-alba* essential oils trigger apoptosis and cell cycle arrest in Leishman infantum promastigotes. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2016, pp. 1–15. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/9147096>
- Zouari S., et al. Essential oil variation in wild populations of *Artemisia saharae* (Asteraceae) from Tunisia: chemical composition, antibacterial and antioxidant properties. *Botanical Studies*. 2014, vol. 55, pp. 1–10.
- Ding J., et al. *Artemisia scoparia*: Traditional uses, active constituents and pharmacological effects. *Journal of Ethnopharmacology*, 2021, vol. 273, article id: 113960. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.113960>
- Azimova Sh.S., Glushenkova A.I. Lipids, lipophilic components and essential oil from plant sources. London, Springer Publ., 2012, vol. 1, 992 p. <https://doi.org/10.1007/978-0-85729-323-7>

10. Bora K.S., Sharma A. The genus *Artemisia*: a comprehensive review. *Pharmaceutical Biology*, 2011, vol. 49, no. 1, pp. 101–109. <https://doi.org/10.3109/13880209.2010.497815>
11. El-Massry K.F., El-Ghorab A.H., Farouk A. Antioxidant activity and volatile components of Egyptian *Artemisia judaica* L. *Food Chemistry*, 2002, vol. 79, no. 3, pp. 331–336. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00164-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00164-4)
12. Singh H.P., et al. Chemical composition and antioxidant activity of essential oil from residues of *Artemisia scoparia*. *Food Chemistry*, 2009, vol. 114, no. 2, pp. 642–645. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.101>
13. Chehregani A., et al. Essential oil variation in the populations of *Artemisia spicigera* from northwest of Iran: chemical composition and antibacterial activity. *Pharmaceutical Biology*, 2013, vol. 51, no. 2, pp. 246–252. <https://doi.org/10.3109/13880209.2012.717631>
14. Kordali S., et al. Determination of the chemical composition and antioxidant activity of the essential oil of *Artemisia dracunculus* and of the antifungal and antibacterial activities of Turkish *Artemisia absinthium*, *A. dracunculus*, *Artemisia santonicum*, and *Artemisia spicigera* essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, vol. 53, no. 24, pp. 9452–9458. <https://doi.org/10.1021/jf0516538>
15. Rashmi T.R., Francis M.S., Murali S. Essential oil composition of *Artemisia japonica* Thunb. from Kerala. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2014, vol. 3, no. 4, pp. 160–163.
16. Ouchelli Y., et al. Chemical characterization of volatile extract of *Artemisia herba-alba* and study of its antioxidant, antimicrobial and antifungal activities and its inhibitory effect on corrosion of aluminum in hydrogen chloride solution. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 2022, vol. 11, no. 4, Article ID: e4889. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.4889>
17. Messai A., Redouane-Salah S. Dietary use of *Artemisia herba alba* Asso as a potential cocidiostat against caecal coccidiosis: haematological parameter variations. *Tropical Animal Health and Production*, 2022, vol. 54, no. 1, p. 28. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-03038-x>
18. Riahi L., et al. Variations in Tunisian wormwood essential oil profiles and phenolic contents between leaves and flowers and their effects on antioxidant activities. *Industrial Crops and Products*, 2013, vol. 46, pp. 290–296. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.01.036>
19. Feuerstein I., Danin A., Segal R. Constitution of the essential oil from an *Artemisia herba-alba* population of Spain. *Phytochemistry*, 1988, vol. 27, no. 2, pp. 433–434. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(88\)83114-5](https://doi.org/10.1016/0031-9422(88)83114-5)
20. Efferth T., et al. Cytotoxic activity of secondary metabolites derived from *Artemisia annua* L. towards cancer cells in comparison to its designated active constituent artemisinin. *Phytomedicine*, 2011, vol. 18, no. 11, pp. 959–969. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2011.06.008>
21. Martínez M.J.A., et al. The *Artemisia* L. genus: a review of bioactive sesquiterpene lactones. *Studies in Natural Products Chemistry*, 2012, vol. 37, pp. 43–65. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59514-0.00002-X>
22. Saddi M., et al. Antiherpesvirus activity of *Artemisia arborescens* essential oil and inhibition of lateral diffusion in Vero cells. *Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials*, 2007, vol. 6, no. 1, pp. 1–7. <https://doi.org/10.1186/1476-0711-6-10>
23. Kaur S., et al. Phytotoxic effects of volatile oil from *Artemisia scoparia* against weeds and its possible use as a bioherbicide. *Industrial Crops and Products*, 2010, vol. 32, no. 1, pp. 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.03.007>
24. Viuda-Martos M., et al. Chemical composition and antioxidant and anti-*Listeria* activities of essential oils obtained from some Egyptian plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, vol. 58, no. 16, pp. 9063–9070. <https://doi.org/10.1021/jf101620c>
25. Bakkali F., et al. Biological effects of essential oils—a review. *Food and Chemical Toxicology*, 2008, vol. 46, no. 2, pp. 446–475. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>
26. Amine S., et al. Influence of abiotic factors on the phytochemical profile of two species of *Artemisia*: *A. herba alba* Asso and *A. mesatlantica* Maire. *International Journal of Plant Biology*, 2022, vol. 13, no. 2, pp. 55–70. <https://doi.org/10.3390/ijpb13020007>
27. Murtazaliev R.A. *Konspekt flory Dagestana* [Abstract of the flora of Dagestan]. Makhachkala, Epokha Publ., 2009, vol. 3, 304 p. (In Russian)
28. Asadulaev Z.M., Mallaliev M.M. Ecological characteristics of growing conditions and population structure of *Artemisia salsoloides* Willd. in Dagestan. *Botanicheskii vestnik Severnogo Kavkaza* [Botanical Bulletin of the North Caucasus]. 2015, no. 1, pp. 18–29. (In Russian)
29. Weyerstahl P., et al. Terpenes and Terpene Derivatives, XXVIII. New Monoterpene Derivatives from the Essential Oil of *Artemisia salsoloides*. *Liebigs Annalen der Chemie*, 1992, no. 3, pp. 279–281. <https://doi.org/10.1002/jlac.199219920148>
30. Weyerstahl P., et al. Volatile constituents of the essential oil and of the absolute of *Artemisia salsoloides* Willd. from Ladakh. *Flavour and Fragrance Journal*, 1992, vol. 7, no. 6, pp. 299–305. <https://doi.org/10.1002/ffj.2730070603>
31. Lapkina E.Z., et al. Component composition of essential oil of wormwood (*Artemisia salsoloides* Willd) and its antimicrobial properties. *Chemistry of Plant Raw Materials*, 2017, no. 3, pp. 157–162. (In Russian) <https://doi.org/10.14258/jcprm.2017031627>
32. Gireev G.I., Salikhov Sh.K., Lukanova S.G. Content of microelements and vitamins in pasture plants of Dagestan. *Rastitel'nye Resursy* [Plant Resources]. 2012, vol. 48, no. 1, pp. 99–110. (In Russian)
33. Ryabinina N.O. Prospects for the development of a network of specially protected natural areas in the steppe zone of the southeast of the Russian Plain (using the example of the Volgograd region). *Obshchestvenno-nauchnyi Zhurnal «Problemy Regional'noi Ekologii»* [Social and Scientific Journal "Problems of Regional Ecology"]. 2013, no. 4, pp. 236–241. (In Russian)
34. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiiskoi Federatsii, 14 izd. Obshchie farmakopeinye stat'i: OFS.1.5.2.0001.15 Efirnye masla, OFS.1.5.3.0010.15 Opredelenie soderzhaniya efirnogo masla v lekarstvennom rastitel'nom syr'e i lekarstvennykh rastitel'nykh preparatakh, MZ RF* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation, 14th ed. General pharmacopoeial monographs: GPM.1.5.2.0001.15 Essential oils, GPM.1.5.3.0010.15 Determination of essential oil content in medicinal plant raw materials and medicinal herbal preparations, Ministry of Health of the Russian Federation]. Moscow, 2018. (In Russian)
35. Majdoub S., et al. Effect of pressure variation on the efficiency of supercritical fluid extraction of wild carrot (*Daucus carota* subsp. *maritimus*) extracts. *Journal of*

- Chromatography B*, 2019, vol. 1125, article id: 121713. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2019.121713>
36. Pavlov I.N., et al. Reduced resistance of coniferous forests of Siberia to root pathogens as a result of a modern increase in the temperature of the ground layer of air and soil. *Khvoinye Boreal'noi Zony* [Conifers of the Boreal Zone]. 2011, vol. 28, no. 1–2, pp. 47–53. (In Russian)
37. Startseva V.A., et al. Reduced resistance of coniferous forests of Siberia to root pathogens as a result of a modern increase in the temperature of the ground layer of air and soil. *Khimiya v Interesakh Ustoichivogo Razvitiya* [Conifers of the Boreal Zone]. 2009, vol. 17, no. 5, pp. 539–545. (In Russian)
38. Stepanenko I.S., et al. Antimicrobial activity of (+)-limonene and its derivative (+)-1, 2-limonene oxide. *Vestnik Chuvashskogo Universiteta* [Bulletin of the Chuvash University]. 2014, no. 2, pp. 368–374. (In Russian)
39. Zhou J., Azrad M., Kong L. Effect of limonene on cancer development in rodent models: a systematic review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2021, vol. 5, article id: 725077. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.725077>
40. Ibrahim M.A., Kainulainen P., Aflatuni A. Insecticidal, repellent, antimicrobial activity and phytotoxicity of essential oils: With special reference to limonene and its suitability for control of insect pests. *Agricultural and Food Science*, 2001, vol. 10, no. 3, pp. 243–259. <https://doi.org/10.23986/afsci.5697>
41. Kaji I., et al. Inhibition by D-limonene of experimental hepatocarcinogenesis in Sprague-Dawley rats does not involve p21ras plasma membrane association. *International Journal of Cancer*, 2001, vol. 93, no. 3, pp. 441–444. <https://doi.org/10.1002/ijc.1353>
42. Tyagi A.K., et al. Identification of a novel compound (β -sesquiphellandrene) from turmeric (*Curcuma longa*) with anticancer potential: comparison with curcumin. *Investigational New Drugs*, 2015, vol. 33, no. 6, pp. 1175–1186. <https://doi.org/10.1007/s10637-015-0296-5>
43. Fidy K., et al. β -caryophyllene and β -caryophyllene oxide—natural compounds of anticancer and analgesic properties. *Cancer Medicine*, 2016, vol. 5, no. 10, pp. 3007–3017. <https://doi.org/10.1002/cam4.816>
44. de Oliveira C.C., et al. Anticonvulsant activity of β -caryophyllene against pentylenetetrazol-induced seizures. *Epilepsy & Behavior*, 2016, vol. 56, pp. 26–31. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2015.12.040>
45. Jun N.J., et al. Cytotoxic activity of [β]-Caryophyllene oxide isolated from jeju guava (*Psidium cattleianum* Sabine) leaf. *Records of Natural Products*, 2011, vol. 5, no. 3, pp. 242–246.
46. Farzaneh M., et al. Chemical composition and antifungal effects of three species of *Satureja* (*S. hortensis*, *S. spicigera*, and *S. khuzistanica*) essential oils on the main pathogens of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 2015, vol. 109, pp. 145–151. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.06.014>
47. Liu H., et al. Neuroprotective effects of trans-caryophyllene against kainic acid induced seizure activity and oxidative stress in mice. *Neurochemical Research*, 2015, vol. 40, pp. 118–123. <https://doi.org/10.1007/s11064-014-1474-0>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Фазина А. Вагабова планировала эксперимент, собрала и проанализировала данные, интерпретировала результаты и написала статью. Аслан М. Алиев анализировал компонентный состав эфирных масел на газовом хроматографе с масс-спектрометрическим детектором. Гаджи К. Раджабов собрал образцы, провел статистическую обработку данных. Максим М. Маллалиев собрал растительного материала. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Fazina A. Vagabova planned the experiment, collected and analyzed the data, interpreted the results and wrote the article. Aslan M. Aliev analysed the component composition of essential oils using a gas chromatograph with a mass spectrometric detector. Gadzhi K. Radzhabov collected samples and processed statistical data. Maxim M. Mallaliev collected plant material. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Фазина А. Вагабова / Fazina A. Vagabova <https://orcid.org/0000-0003-3315-3874>
 Аслан М. Алиев / Aslan M. Aliev <https://orcid.org/0000-0002-2181-1801>
 Гаджи К. Раджабов / Gadzhi K. Radzhabov <https://orcid.org/0000-0001-9263-5684>
 Максим М. Маллалиев / Maxim M. Mallaliev <https://orcid.org/0000-0001-9851-2976>

Оригинальная статья / Original article

УДК 578.7

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-3



Исследование ингибирующей активности экстрактов, фракций и вторичных метаболитов *Silene* spp. (*Caryophyllaceae*) и *Serratula cupuliformis* (*Asteraceae*) на «вход» простого герпеса 2 типа в чувствительные клетки линии Vero

Елена И. Казачинская^{1,3}, Лариса Н. Зибарева², Елена С. Филоненко², Алла В. Иванова³,
Юлия В. Кононова¹, Александр А. Чепурнов¹, Александр М. Шестопапов¹

¹Научно-исследовательский институт вирусологии Федерального исследовательского центра фундаментальной и трансляционной медицины (ФИЦ ФТМ) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Новосибирск, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет (ТГУ), Томск, Россия

³Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор» (ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор»), Новосибирск, Россия

Контактное лицо

Елена И. Казачинская, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник ФИЦ ФТМ, ведущий научный сотрудник ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор»; 630559 Россия, Новосибирская область, г. Новосибирск, р/п Кольцово 32-1.
Тел. +79095307441

Email lena.kazachinskaia@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1856-6147>

Формат цитирования

Казачинская Е.И., Зибарева Л.Н., Филоненко Е.С., Иванова А.В., Кононова Ю.В., Чепурнов А.А., Шестопапов А.М. Исследование ингибирующей активности экстрактов, фракций и вторичных метаболитов *Silene* spp. (*Caryophyllaceae*) и *Serratula cupuliformis* (*Asteraceae*) на «вход» простого герпеса 2 типа в чувствительные клетки линии Vero // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 1. С. 30-46. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-3

Получена 4 декабря 2023 г.

Прошла рецензирование 10 января 2024 г.

Принята 15 января 2024 г.

Список сокращений

HSVs – Herpes Simplex Viruses; HSV-2 – Herpes simplex virus type 2; MOI – множественность инфекции (multiplicities of infection); ЦПД – цитопатическое действие; ТЦПД₅₀/мл – тканевая цитопатическая доза; БОЕ – бляшкообразующая единица; СС₅₀ – 50 %-ная цитотоксическая концентрация (50 % cytotoxic concentration); ЕС₅₀ – 50 %-ная эффективная концентрация (50 % effective concentration); ЕС₁₀₀ – 100 %-ная эффективная концентрация (100 % effective concentration); 20E – 20-гидроксиэкдизон; БАВ – биологически активные вещества, ДМСО – диметилсульфоксид

Резюме

Целью является анализ *in vitro* ингибирующей активности экстрактов, фракций и вторичных метаболитов растений рода *Silene* (*Caryophyllaceae*) и *Serratula cupuliformis* (*Asteraceae*) на «вход» простого герпеса 2 типа (HSV-2) в чувствительные клетки линии Vero.

Приготовлены этанольные экстракты и бутанольные фракции *Silene* spp. и *Serratula cupuliformis*. Выделены флавоноид шафтозид и экдистероид 20-гидроксиэкдизон из *Lychnis chalconica*. Анализ БАВ выполнен методом ВЭЖХ. Образцы растворяли в дистиллированной воде или ДМСО. Лабораторный штамм MS HSV-2 пассирован на культуре клеток Vero. Анализ ингибирующей активности растительных препаратов проводили на культуре клеток Vero методом прямой инактивации (нейтрализации) вирионов с инфекционным титром 10³ БОЕ/мл.

Выявлена ингибирующая активность растительных препаратов в диапазоне 50 %-ных эффективных концентраций (ЕС₅₀) от 2,12±0,47 до 180,99±49,24 мкг/мл при растворении в воде и от 1,99±0,44 до 57,42±14,74 мкг/мл при растворении в ДМСО, что для некоторых образцов сопоставимо с ЕС₅₀ препаратов сравнения (сухими этанольными экстрактами специи гвоздики, чаги и корня солодки).

Полученные результаты предполагают наличие в исследуемых растительных препаратах БАВ, действующих деструктивно на вирионы HSV-2 и влияющих на один из основных этапов его «жизненного» цикла – на «вход» вируса в чувствительные клетки.

Ключевые слова

HSV-2, растительные препараты, ингибирующая активность.

Investigation of the inhibitory activity of extracts, fractions and secondary metabolites of *Silene* spp. (Caryophyllaceae) and *Serratula cupuliformis* (Asteraceae) on the «entry» of herpes simplex type 2 into sensitive cells of the Vero line

Elena I. Kazachinskaia^{1,3}, Larisa N. Zibareva², Elena S. Filonenko², Alla V. Ivanova³, Yulia V. Kononova¹, Alexander A. Chepurinov¹ and Alexander M. Shestopalov¹

¹Research Institute of Virology, Federal Research Center of Fundamental and Translational Medicine, Novosibirsk, Russia

²National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

³Vector State Research Centre of Virology and Biotechnology, Federal Service for the Oversight of Consumer Protection and Welfare (Rosпотребнадзор), Novosibirsk, Russia

Principal contact

Elena I. Kazachinskaia, Doctor of Biology, Leading Researcher, Research Institute of Virology, Federal Research Centre for Fundamental and Translational Medicine & Leading Researcher, VECTOR State Research Centre of Virology and Biotechnology; 32-1 Koltsovo, Novosibirsk, Novosibirskiy region, Russia 630559.

Tel. +79095307441

Email lena.kazachinskaia@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1856-6147>

How to cite this article

Kazachinskaia E.I., Zibareva L.N., Filonenko E.S., Ivanova A.V., Kononova Yu.V., Chepurinov A.A., Shestopalov A.M.

Investigation of the inhibitory activity of extracts, fractions and secondary metabolites of *Silene* spp. (Caryophyllaceae) and *Serratula cupuliformis* (Asteraceae) on the «entry» of herpes simplex type 2 into sensitive cells of the Vero line.

South of Russia: ecology, development. 2024; 19(1):30-46. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-3

Received 4 December 2023

Revised 10 January 2024

Accepted 15 January 2024

Abbreviations list

HSVs – Herpes Simplex Viruses; HSV-2 – Herpes simplex virus type 2; PFU – plaque-forming units; CE – cytopathic effect; MOI – multiplicity of infection, TCID₅₀ – 50 % tissue culture infectious doses; CC₅₀ – % cytotoxic concentration, EC₅₀ – 50 % effective concentration; EC₁₀₀ – 100 % effective concentration; 20E – 20-Hydroxyecdysone; BAS – biologically active substances, DMSO – Dimethyl sulfoxide

Abstract

In vitro analysis of the inhibitory activity of extracts, fractions and secondary metabolites of plants of the genus *Silene* (Caryophyllaceae) and *Serratula cupuliformis* (Asteraceae) to the «entry» of herpes simplex type 2 (HSV-2) into sensitive cells of the Vero line.

Ethanol extracts and butanol fractions of *Silene* spp. and *Serratula cupuliformis* were prepared. The flavonoid shaftoside and the ecdysteroid 20-hydroxyecdysone from *Lychnis chalconica* were isolated. For analysis of biologically active substances (BAS) the HPLC method was used. The samples were dissolved in distilled water or DMSO. The laboratory strain MS HSV-2 was grown on Vero cell culture. *In vitro* analysis of the inhibitory activity of the herbal preparations on «entry» of HSV-2 was performed in Vero cell culture by direct inactivation (neutralisation) of virions with 10³ PFU /ml.

Effective concentrations (EC₅₀) have been identified in the range of 50 % from 2.12±0.47 to 180.99±49.24 µg/ml when preparations were dissolved in water and from 1.99±0.44 to 57.42±14.74 µg/ml when they were dissolved in DMSO. Such results for some samples is comparable to the EC₅₀ of comparison preparations (dry ethanol extracts of spice of cloves, chaga and licorice root).

The results obtained suggest the presence of BAS in the herbal preparations studied that act destructively on HSV-2 virions and affect one of the main stages of its «life» cycle – the «entry» of the virus into sensitive cells.

Key Words

HSV-2, herbal preparations, inhibitory activity.

ВВЕДЕНИЕ

По данным Международного комитета по таксономии вирусов (ICTV, 2021) [1] семейство *Herpesviridae* насчитывает 114 представителей, которые могут поражать широкий спектр видов животных (млекопитающих, птиц и рептилий) и проявляют узкую видовую специфичность, что указывает на их эволюцию с хозяевами в течение длительных периодов времени [2]. На основе организации генома и других биологических характеристиках (клеточного тропизма, скорости репликации и др.), вирусы герпеса классифицируются на три подсемейства: *Alphaherpesvirinae*, *Betaherpesvirinae* и *Gammaherpesvirinae* [3]. Геномы герпесов кодируют более 100 генов и примерно 40 из них являются общими для всех видов *Herpesviridae* [4]. Вирусы герпеса имеют два цикла репликации: литический и латентный. Литическая репликация производит частицы для заражения других клеток и организмов, в то время как латентность (которая устанавливается пожизненно при первичном попадании патогенов в организм) характеризуется ограниченной экспрессией генов и отсутствием инфекционных частиц [5]. Частицы герпесвирусов состоят из большого линейного двухцепочечного генома (молекула дцДНК размером примерно от 100 тыс. до 250 тыс. пар оснований с низкой частотой мутаций), упакованного в икосаэдрический капсид, покрытый тегументом (слоем, состоящим из более, чем 20-ти белков), который, в свою очередь, заключен в оболочку – липидный бислой, полученный из мембраны клетки-хозяина [6; 7]. Оболочка содержит, примерно 20 интегральных белков, из которых 13 являются гликопротеинами, играющими важную роль в прикреплении вириона к различным клеточным рецепторам, проникновении вируса либо через слияние вирусной оболочки с плазматической мембраной, либо через рецептор-опосредованный эндоцитоз [4]. В настоящее время известны, по крайней мере, 10 герпесвирусных гликопротеинов, обозначаемых как gB, gC, gD, gE, gG, gH, gI, gK, gL, gM и gN. Для большинства герпесвирусов четыре или пять белков оболочки могут участвовать в процессе проникновения («входа») в клетку – это gB, gC, gD, gH и gL [6]. По данным криоэлектронных томограмм изолированных вирионов вирусные гликопротеины образуют сеть из шипов, которые различаются по длине, расстоянию между ними и углам, под которыми они выходят из мембраны [8].

Известно девять видов герпеса, заметно отличающихся по своей биологии, циркулирующих в человеческой популяции. К ним относятся вирусы простого герпеса (*Herpes simplex viruses*, HSVs) – 1 и 2 типов (HSV-1 и HSV-2) и вирус ветряной оспы (и опоясывающего лишая) *Varicella Zoster* (VZV), цитомегаловирус (*Cytomegalovirus*, CMV), вирус Эпштейна-Барра (*Epstein-Barr virus*, EBV), вирусы герпеса человека 6A, 6B и 7 (*human herpesvirus*, HHV-6A, HHV-6B, HHV-7), HHV-8 (ассоциированный с саркомой Капоши) [3]. Вирусы простого герпеса 1 и 2 типов (HSV-1 и HSV-2, *Alphaherpesvirinae*) наиболее распространенные нейротропные патогены во всем мире, вызывающие широкий спектр заболеваний у людей. HSV-1 поражает преимущественно слизистую оболочку полости рта, вызывая характерные незначительные поражения кожи и иногда энцефалит. Причиной генитального герпеса

чаще является HSV-2. Тем не менее, оба вируса могут поражать любую слизистую оболочку, часто в результате орально-генитального секса [9]. Известно, что HSVs поражают не только эпителиальные клетки и нейроны, но и практически любой тип клеток в организме, включая иммунные клетки, такие как дендритные (*dendritic cells*, DCs) и натуральные киллеры (*natural killer cells*, NK cells), благодаря тому, что основные рецепторы для этих патогенов широко распространены в тканях и клетках человека [10]. Для генитального герпеса, вызванного HSV-1, не характерны частые рецидивы. В случае же HSV-2 повторение симптомов происходит часто. Женщины заражаются HSV-2 почти в два раза чаще, чем мужчины, поскольку инфекция легче передается половым путем от мужчины к женщине. Распространенность данной инфекции возрастает с возрастом, хотя наибольшее число новых случаев инфицирования происходит среди подростков. Развитие неонатального герпеса может происходить при контакте новорожденного с HSVs в родовых путях инфицированной матери. Неонатальный герпес развивается редко, по оценкам в 10-ти из 100 тыс. деторождений в мире, тем не менее, это тяжелое состояние может приводить к стойкой неврологической инвалидности или смерти новорожденного. Наибольший риск неонатального герпеса возникает в том случае, когда женщина впервые инфицируется HSVs на поздних сроках беременности и ребенок рождается до трансплацентарного переноса антител [11; 12].

Последние эпидемиологические исследования оценивают около 66,6 % (в возрасте 0 – 49 лет) и 13,2 % (в возрасте 15 – 49 лет) глобальной серопревалентности к HSV-1 и HSV-2, соответственно, в зависимости от пола и географического региона [13]. HSV-1 и HSV-2, в основном, имеют отдельные экологические ниши, поэтому могут одновременно реплицироваться в одном организме. Так в Нигерии при обследовании беременных женщин на антитела класса IgM (маркеры острой фазы инфекции), специфичные к двум видам герпеса, были обнаружены у 2,8 % [14]. На основании результатов эволюционных исследований, есть предположение, что HSV-2 филогенетически ближе к вирусу герпеса шимпанзе (т.е. мог возникнуть в результате межвидовой передачи), чем на HSV-1 [15]. Тем не менее, геномы HSV-1 и HSV-2 очень близки и большинство гликопротеинов имеют высокую идентичность аминокислотных последовательностей, исключением является только часть гликопротеина G (gG) [16]. В связи с этим, дифференциальная диагностика болезней, вызванных HSVs, затруднена и основана на маркерах gG [17].

В настоящее время около полумиллиарда человек во всем мире инфицированы HSV-2 [6]. Генитальный герпес может быть симптоматическим или бессимптомным. Передача инфекции половым путем, бессимптомными лицами является основной причиной высокой распространенности генитального герпеса [18]. Наличие HSV-2 в половых органах при его реактивации повышает риск заражения вирусом иммунодефицита человека (ВИЧ, *human immunodeficiency virus*, HIV) примерно в три раза. Кроме того, инфицированные одновременно ВИЧ и HSV-2, чаще передают ВИЧ другим лицам [11]. Также показано, что HSV-2 может активировать ВИЧ, находящийся в стадии провируса,

т.е. является кофактором прогрессирования ВИЧ-инфекции [19].

До сих пор не существует вакцины или лечебного средства для профилактики HSV-2 инфекции [20]. Хотя известно, что пассивный перенос антител от матери к плоду защищает новорожденных благодаря нейтрализующим антителам, попытки разработать эффективную вакцину против генитального герпеса для взрослых оказались неудачными [12]. По данным клинических испытаний трех вакцин против HSV-2 на основе иммунодоминантных белков (gB2/gD2, gD2) или живого вируса с дефектом репликации в генах UL5 и UL29, было показано, что: 1) титры нейтрализующих антител у добровольцев были либо низкими, либо недолговечными, либо и тем и другим; 2) вакцины не были эффективны у серопозитивных к HSV-1 женщин и у мужчин любого серостатуса. В результате, сделаны выводы о том, что: 1) HSV-2 в высокой степени адаптирован к уклонению от иммунитета хозяина, что затрудняет предотвращение попадания вируса в ганглии, которые являются местом латентности; 2) антитела от предшествующей инфекции HSV-1 могут препятствовать защите от HSV-2. Возможно, что современный подход в разработке профилактической вакцины против генитального герпеса с использованием трехвалентных мРНК-липидных наночастиц (на основе гена gD2, т.к. антитела к этому белку блокируют «вход» вируса + добавление генов gC2 и gE2, т.к. кодируемые белки блокируют активацию компонента) повысит ее способность индуцировать более высокие титры нейтрализующих антител и более длительные реакции фолликулярных хелперных клеток CD4+ Т и В-клеток памяти, чем вакцины с обычной белковой основой и адьювантами [12].

Симптоматические инфекции HSV-2 можно контролировать с помощью противовирусных препаратов – синтетических аналогов нуклеозидов, таких как ацикловир, валацикловир и фоскарнет. Аналоги нуклеозидов встраиваются в вирусную ДНК, предотвращают репликацию вируса [21], тем самым способствуют снижению тяжести и частоты симптомов, но не приводят к излечению хронической инфекции [11]. Кроме того, описано, что при приеме этих препаратов чаще всего пациенты испытывают недомогание, реже – головокружение, усталость, тошноту, рвоту, трансаминаит и сыпь (включая синдром Стивена-Джонсона), боль в животе, агрессию/спутанность сознания, возбуждение, алопецию, анемию, анафилаксию, ангионевротический отек, анорексию, атаксию, диссеминированное внутрисосудистое свертывание крови. Острое повреждение почек из-за образования кристаллов в почечных канальцах является наиболее значительным побочным эффектом парентерального введения ацикловира. Отсутствие клинического ответа на лечение ацикловиром через неделю после начала терапии может свидетельствовать о приобретении вирусом лекарственной устойчивости [22]. Сообщается о высокой частоте устойчивых к ацикловиру герпесных инфекций среди лиц с ослабленным иммунитетом, причем самая высокая распространенность наблюдается среди реципиентов трансплантации гемопоэтических стволовых клеток [23]. Кризис устойчивости к противогерпетическим препаратам объясняется чрезмерным их использованием. Отсутствие разработки новых лекарств фармацевтической промышленностью связан со сниже-

нием экономических стимулов и сложных нормативных требований. Разработка эффективных и безопасных противовирусных препаратов стала бы шагом вперед в глобальной борьбе с HSVs-инфекциями. В связи с этим, уделяется большое внимание использованию натуральных продуктов для уменьшения тяжести и продолжительности рецидивов, связанных с HSVs, особенно HSV-2 [24]. В обзоре Trembl с соавт. приводят анализ последних достижений (на 2020 г.) в области исследований *in vitro* и *in vivo* натуральных противогерпетических средств – это широкий спектр фенольных соединений, алкалоидов, терпеноидов, полисахаридов, пептидов и других разнообразных биологически активных веществ (БАВ), полученных из различных источников природного происхождения (из растений, лишайников, грибов, морских организмов, микроорганизмов и насекомых) [24]. В обзоре Mohan с соавт. по широкому анализу литературы с 1975 по 2020 гг. по антивирусному потенциалу растительного сырья против HSV-1 и HSV-2, отмечено, что из 66-ти видов растений, экстракты которых активны против HSV-1, только по препаратам нескольких растений из разных семейств описана ингибирующая активность против HSV-2 *in vitro* – это метанольный экстракт семян гармалы обыкновенной (*Peganum harmala* L., Nitrariaceae), водный экстракт травы центеллы азиатской (*Centella asiatica* L., Umbelliferae), метанольный экстракт смолы фишашкового дерева (*Pistacia lentiscus* L., Anacardiaceae), водный экстракт листьев манго (*Mangifera indica* L., Anacardiaceae), этанольный экстракт листьев аглаи душистой (*Aglaia odorata*, Meliaceae), водный экстракт корня и коры стебля сумаха душистого (*Rhus aromatica*, Anacardiaceae), водный экстракт листьев кешью (*Anacardium occidentale* L., Anacardiaceae), этанольный экстракт листьев форадендрона (*Phoradendron crassifolium* Loranthaceae), вытяжки эфиром из коры стеблей анноны колючей (*Annona muricata* L., Annonaceae) и петунии (*Petunia nyctaginiflora* Jussieu, Solanaceae), водно-этанольный экстракт корней и стебля хвоща гигантского (*Equisetum giganteum* L., Equisetaceae), этанольный и водный экстракты листьев копаиферы (*Copaifera reticulata*, Fabaceae), метанольный экстракт коры акации нильской (*Vachellia nilotica* L., Fabaceae), метанольный экстракт листьев кустарникового молочая педилантуса (*Pedilanthus tithymaloides* Неск. ex Poit., Euphorbiaceae) и метанольный экстракт коры птерокарпия (*Pterocarya stenoptera* C. DC., Juglandaceae) [25]. Этими авторами отмечается разный механизм действия БАВ растительных препаратов – как ингибирование вирусной репликации внутри инфицированной клетки, так и блокирование прикрепления и проникновения вируса в клетку. На примерах активности растительных препаратов против HSV-2 это соотношение механизма действия составляет примерно 1/1.

Представители семейства **Гвоздичные** (Caryophyllaceae) – растения рода ***Silene*** также могут быть интересны для исследований в данном направлении т.к. содержат широкий спектр БАВ – это флавоноиды и фитоэкстероиды [26]. Известно, что флавоноиды – группа природных полифенольных веществ, обладающих антиоксидантным действием, а также другими биологическими свойствами (например, антимикробными и противовоспалительными), снижают риск инфекционных заболеваний [27]. Растения рода *Silene* также содержат фитоэкстероиды (полигид-

роксилированные соединения, структурные аналоги гормонов линьки насекомых) [26]. Фитоэкстероиды, содержащиеся в водорослях, грибах, папоротниках, голосеменных и покрытосеменных растениях в плане антивирусной активности практически не изучены. У людей фитоэкстероиды проявляют различные биологические, фармакологические и лекарственные свойства, такие как противодиабетическое, антиоксидантное, антимикробное, гемореологическое, гепатопротекторное, гипогликемическое, противораковое, противовоспалительное, радиопротекторное [28], антидепрессивное действие и активность по дифференцировке тканей [29].

Астровые или **Сложноцветные** (Asteraceae) – крупнейшее семейство покрытосеменных, включает множество видов, имеющих лекарственное и хозяйственное значение. Известно про антивирусную активность водных и этанольных экстрактов видов *Asteraceae*, например, против SARS-CoV-2 – полыней разных видов (*Artemisia* ssp.) [30; 31], против HIV – метанольных экстрактов травы лопуха большого *Arctium lappa* L., хризантемы индийской (*Chrysanthemum indicum* L.) и крестовника (*Senecio scandens* Вучн.-Нам. ex D.DON) [25]. Против HSV-1 описана активность водного экстракта пижмы девичьей (*Tanacetum parthenium* (L.) Sch.Bip.), водного экстракта полыни шелковистой (*A. kermanensis*), дихлорметанового экстракта *Scaevola gaudichaudiana*. Ингибирование вирусов связывают, скорее всего, с дубильными веществами или полифенолами, содержащимися в экстрактах этих растений [25].

Против HSV-2 описана активность разных фракций (фракционирование с использованием растворителей возрастающей полярности: петролейного эфира, хлороформа, этилацетата, бутанола и воды) метанольного экстракта наземной части пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare*) по профилактической схеме (предварительная обработка клеток растительными препаратами, а затем заражение с 10 ТЦПД₅₀/мл, (т.е. определялось ингибирование адсорбции вируса на клетках и вирулицидная активность) с EC₅₀ в диапазоне концентраций 16,0–500,0 мкг/мл и с SI₅₀=1,1–8,71 (при контрольных данных по ацикловиру EC₅₀=0,977±0,051 мкг/мл и SI₅₀=1023,0) [32]. Эти же авторы показали активность против HSV-2 экстракта корней *T. vulgare* и механизм действия БАВ определен как ингибирование проникновения вируса и специфического прекращения экспрессии вирусного гена gG и, следовательно, уменьшения накопления вирусного белка в инфицированных клетках [33].

Serratula cupuliformis (Asteraceae) содержит флавоноиды [34], а также фитоэкстероид 20-гидроксиэксидон (20E), который экстрагируется из наземной части растения 70% этиловым спиртом [35].

Цель данной работы – анализ *in vitro* ингибирующей активности экстрактов, фракций и вторичных метаболитов растений рода *Silene* (Caryophyllaceae) и *Serratula cupuliformis* (Asteraceae) на «вход» простого герпеса 2 типа (HSV-2) в чувствительные клетки линии Vero.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования. Этанольные экстракты, бутанольные фракции растений рода *Silene* (Caryophyllaceae), успешно интродуцированных в

Сибирском ботаническом саду ТГУ – *Silene chalcedonica* (L.) E.H.L. Krause (*Lychnis chalcedonica* L.), *Silene viridiflora* L. Sp. Pl., *S. colpophylla* Wrigley., *S. graefferi* Guss., *S. sendtneri* Boiss., *S. linicola* C.C. Gmelin, *S. caramanica* Boiss., Nakai & Kitag., *S. roemerii* Friv., *Serratula cupuliformis* (Asteraceae) и вторичные метаболиты – флавоноид шафтозид и экдистероид 20-гидроксиэксидон, выделенные из *L. chalcedonica*. Получение растительных препаратов и методика анализа БАВ высокоэффективной жидкостной хроматографией (ВЭЖХ) описано в работе [36]. Структуры индивидуальных соединений (флавоноида шафтозида и экдистероида 20-гидроксиэксидона (20-E), выделенных из *L. chalcedonica*, идентифицированы ранее по данным ВЭЖХ, масс-, ¹H и ¹³C ЯМР-спектров как описано [26].

Подготовка растительных препаратов для исследования цитотоксичности и ингибирующей активности на вирусную репликацию: навески растительных препаратов растворяли в кипяченой дистиллированной воде или в диметилсульфоксиде (ДМСО).

В качестве препаратов сравнения (контрольных образцов) использовали приготовленные нами сухие этанольные экстракты (вытяжка 70%-ным этанолом в течение семи суток) плодового тела чаги (*Inonotus obliquus* (Pers.) Pilat, Hymenochaetales) и специи гвоздики (*Syzygium aromaticum* L., Myrtaceae), как описано [31], т.к. для водных экстрактов и вытяжек этого растительного сырья описана анти-HSV-2 активность *in vitro* при прямой инактивации (нейтрализации) [37; 38]. Кроме того, приготовили сухой этанольный экстракт корня солодки голой (*Glycyrrhiza glabra* L., Fabaceae) т.к., по данным литературы, сухой водный экстракт (растворенный в ДМСО) корня этого растения, собранного в Афганистане, проявляет *in vitro* высокую активность против HSV-1 с EC₅₀=26 мкг/мл (при CC₅₀=120 мкг/мл) при прямой инактивации [39]. Растительное сырье: чага (место сбора: Салаирский край, Маслянинский район, НСО), специя гвоздика (из Вьетнама) и корень солодки голой (выращенной в Южном Урале) любезно предоставлено ООО НПФ «Золотая долина», г. Новосибирск.

Культура клеток. Перевиваемая культура клеток Vero (клетки почки африканской зеленой мартышки) из собственной коллекции ФИЦ ФТМ СО РАН культивировали на питательной среде Игла MEM с L-глутамином (Биолот, Россия) с добавлением 1 % Antibiotic Antimycotic Solution (SIGMA Life Science, Израиль) и 10 % эмбриональной сыворотки крови крупного рогатого скота (КРС) (Capricorn Scientific, ФРГ).

Штамм MS вируса простого герпеса 2-го типа (HSV-2) ранее был любезно предоставлен авторам д.-ром [М.А. Сулопаровым], описан в его диссертации 2008 г. и в работах [38; 40; 41]. Инфекционный титр HSV-2 выражали в бляшкообразующих единицах (БОЕ/мл), т.к. цитопатическое действие (ЦПД) этого вируса легко идентифицируется на монослое инфицированных клеток Vero до одной БОЕ, состоящей из нескольких инфицированных клеток как показано [38].

Цитотоксичность исследуемых растительных препаратов и контрольных образцов определяли по 50%-ной цитотоксичной концентрации в мл (50 % cytotoxic concentration, CC_{50} /мл) как описано [42] при нанесении растительных препаратов на чувствительную для HSV-2 клеточную культуру Vero, выращенную до монослоя в лунках 96-луночных планшетов (Corning, США), в поддерживающей питательной среде (с 2 % прогретой сыворотки крови КРС) в разведениях для титрования двойным шагом и выдерживали в течение 1 часа при 37 °С. Затем монослой клеток отмывали и оставляли в поддерживающей питательной среде. Цитотоксическое действие растительных препаратов оценивали каждые сутки (срок наблюдения 5 суток).

Отрицательные контроли. Кипяченая дистиллированная вода, поддерживающая питательная среда для клеток Vero и ДМСО в объемах, соответствующих содержанию растворителя в исследуемых растительных препаратах.

Анализ ингибирующей активности исследуемых растительных препаратов и контрольных образцов на HSV-2 проводили методом классической реакции инактивации (нейтрализации) вирусов как нами недавно описано при исследовании антивирусной активности водных вытяжек нескольких видов чайных композиций и разного растительного сырья [38]. Кратко: растительные препараты (титрование в 96-луночных планшетах двойным шагом с определенной исходной концентрации по сухому веществу в объеме 100 мкл/лунка) предварительно (перед нанесением на монослой клеток Vero, выращенных в 96-луночных планшетах) инкубировали с HSV-2 с инфекционным титром 10^3 БОЕ/мл для (в соответствии с «Руководством...» [43]) в течение 1 часа при 37 °С в CO_2 -инкубаторе. После инкубации смесей экстрактов с вирусной суспензией на клетках течение 1 часа при 37 °С, монослой клеток отмывали и оставляли в поддерживающей питательной среде до проявления ЦПД вируса в контрольных лунках, содержащих инфицированные клетки. Учет результатов по ингибированию вирусной репликации проводили визуально при наблюдении в инвертированный микроскоп при 10-кратном увеличении.

Для статистической обработки все анализы *in vitro* проводили и фиксировали в четырех повторах в двух независимых экспериментах.

Статистическую обработку результатов по определению цитотоксичности и эффективным концентрациям проводили с применением метода Спирмена-Кербера в программе Excel при 95 %-ном уровне надежности ($p < 0,05$).

Селективный индекс (Selectivity index, SI) для 50 %-х цитотоксичных и эффективных концентраций исследуемых экстрактов рассчитывали по формуле: $SI_{50} = CC_{50}/EC_{50}$ как описано [42], с учетом токсичности, выявленной на 48 ч наблюдения и совпадающей со временем фиксации результатов по ЦПД 10^3 БОЕ/мл HSV-2 в контрольных рядах инфицированных клеток.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Анализ состава и содержания химических компонентов препаратов, полученных из растений семейства Гвоздичные (Caryophyllaceae) и *Serratula cupuliformis* (Asteraceae) описан ранее [26; 34–36]. Кратко: этанольные экстракты и бутанольные фракции исследованных растений *Silene* spp. содержат в разном сочетании и количествах: 1) такие флавоноиды как шафтозид, виценин-2, витексин, ориентин, изовитексин, изокверцитрин, кверцетин, апигенин и еще неидентифицированные соединения этого класса; 2) такие фитостероиды как 20-гидроксиэксдизон (20E), 2-дезоксид-20E, 2-ацетат-20E, полиподин В, интегристерон А, 24(28)-дегидромакистерон А, стахистерон Д, эксдизон, витекостерон Е, силенеозид А, силенеозид D, 26-гидроксиполиподин В, 2,22-диацетат 20,26-дигидроксиэксдизон, 3,22-диацетат 20,26-дигидроксиэксдизон, 2-дезоксидэксдизон, интегристерон А, интегристерон А, витикостерон Е, туркестерон и макистерон А [26; 36]. У вида *Serratula cupuliformis* (Asteraceae) выявлены эксдистероиды – 20-гидроксиэксдизон (20E), полиподин В, макистерон А, эксдизон, 2-дезоксид-20E [34] и флавоноиды – изокверцитрин, кверцетин и апигенин.

2. Анализ цитотоксичности растительных препаратов

2.1. Анализ цитотоксичности препаратов при растворении в воде

Первую партию растительных препаратов *Silene* spp. и *Serratula cupuliformis* (Asteraceae) (№№ 1–12) и контрольные образцы (№№13–15) растворяли в кипяченной охлажденной дистиллированной воде для анализа цитотоксичности и ингибирующей активности водорастворимых веществ, содержащихся как в сухих этанольных экстрактах, так и их бутанольных фракций и индивидуальных соединений – флавоноида шафтозида и эксдистероида 20-гидроксиэксдизона (20-E), выделенных из *Lychnis chalconica*. Показатели цитотоксичности фиксировали на 48 ч, т.к. это время совпадало в данных экспериментах с моментом снятия результатов по ЦПД 10^3 БОЕ/мл HSV-2. В результате, цитотоксичность контрольных образцов в CC_{50} оказалась следующая: для чаги – $812,5 \pm 179,32$ мкг/мл, специи гвоздики – $750 \pm 185,20$ мкг/мл и корня солодки – $1375 \pm 358,64$ мкг/мл (табл. 1). Препараты исследуемых образцов растений рода *Silene* оказались менее токсичны: в диапазоне 50%-ных цитотоксичных концентраций (CC_{50}) для бутанольных фракций от $12687,50 \pm 2325,61$ мкг/мл (№4 *S. graefferi*) до $1125,0 \pm 77,70$ мкг/мл (№5 *S. sendtneri*), $3234,38 \pm 704,36$ мкг/мл для этанольного экстракта *S. saramanica* (№7), для флавоноида шафтозида (№11) и эксдистероида 20E (№12) – $3375 \pm 440,99$ мкг/мл и $3562,5 \pm 465,49$ мкг/мл. Значения CC_{50} бутанольной фракции *Serratula cupuliformis* были $6421,875 \pm 839,11$ мкг/мл (№10) (табл. 1).

2.2. Анализ цитотоксичности препаратов при растворении в ДМСО

Вторую партию препаратов растений рода *Silene* и *Serratula cupuliformis* (№№ 16–27) и контрольные образцы сравнения (№№28–30) растворяли в диметилсульфоксиде (ДМСО) с целью анализа активности более широкого спектра содержащихся в них соединений, чем при растворении в воде. В результате, по сравнению с водорастворимыми фракциями исследованных растительных препаратов,

было обнаружено, что их цитотоксичность повышалась при растворении в ДМСО. Так, например, у контрольных образцов сухих этанольных экстрактов показатели CC_{50} были следующими: для чаги на 48 ч наблюдения значения CC_{50} повысились с 812,5±179,32 мкг/мл (№13 в воде) до 437,5±80,19 мкг/мл (№28 в ДМСО), для специи гвоздики – с 750,0±185,20 мкг/мл (№14 в воде) до 375,0±92,60 мкг/мл (№28 в ДМСО), для корня солодки – с 1375±358,64 мкг/мл (№15 в воде) до 875,0±169,06 мкг/мл (№30 в ДМСО), т.е. приблизительно в два раза (табл. 1).

Цитотоксичность препаратов исследуемых образцов растений рода *Silene*, растворенных в ДМСО, повышалась более заметно и в разном соотношении. Так, например, значения CC_{50} повысились: для бутанольных фракций – *Lychnis chalconica* – с 10771,43±1420,97 мкг/мл (№1 в воде) до 84,77±15,54 мкг/мл (№16 в ДМСО), *S. viridiflora* – с 1873,44±488,64 мкг/мл (№2 в воде) до 850,94±155,98 мкг/мл (№17 в ДМСО), *S. colpophylla* – с 2728,13±594,11 мкг/мл (№3 в воде) до 700,0±128,31 мкг/мл (№19 в ДМСО), *S. graefferi* – с 12687,50±2325,61 мкг/мл (№4 в воде) до

1161,56±212,91 мкг/мл (№20 в ДМСО), *S. sendtneri* – с 1125,0±77,70 мкг/мл (№5 в воде) до 150,31±33,17 мкг/мл (№21 в ДМСО), *S. linicola* – с 2446,88±569,66 мкг/мл (№6 в воде) до 1012,5±250,02 мкг/мл (№22 в ДМСО), *S. caramanica* – с 9046,88±1182,10 мкг/мл (№8 в воде) до 689,06±90,03 мкг/мл (№23 в ДМСО), *S. roemeri* – с 9362,5±1716,14 мкг/мл (№9 в воде) до 2056,25±376,91 мкг/мл (№24) в ДМСО); для индивидуального флавоноида шафтозида – с 3375±440,99 мкг/мл (№11 в воде) до 1785,0±440,77 мкг/мл (№26 в ДМСО) и для индивидуального экдистероида 20E – с 3562,5±465,49 мкг/мл (№12 в воде) до 2012,5±516,45 мкг/мл (№27 в ДМСО), соответственно. Значения CC_{50} бутанольной фракции *Serratula cupuliformis* повысились – с 6421,875±839,11 мкг/мл (№10 в воде) до 945,0±198,63 мкг/мл (№25 в ДМСО) (табл. 1). В целом, при сравнении с показателями CC_{50} этих же растительных препаратов на 4-е сутки наблюдения [36] прослеживается менее значительная их цитотоксичность на культуру клеток Vero на 48 ч после контакта.

Таблица 1. Результаты по цитотоксичности исследуемых растительных препаратов

Table 1. Results of cytotoxicity for the herbal preparations studied

Номер образца Sample number	Настительное сырье Vegetable raw materials	Вид растительного препарата Type of herbal preparation	Растворитель Solvent	CC_{50} мкг/мл CC_{50} µg/ml
1	<i>Lychnis chalconica</i>	БФ BF	дист. вода dist. water	10771,43±1420,97
2	<i>Silene viridiflora</i>	БФ BF	дист. вода dist. water	1873,44±488,64
3	<i>Silene colpophylla</i>	БФ BF	дист. вода dist. water	2728,13±594,11
4	<i>Silene graefferi</i>	БФ п/к BF p/c	дист. вода dist. water	12687,50±2325,61
5	<i>Silene sendtneri</i>	БФ BF	дист. вода dist. water	1125,0±77,70
6	<i>Silene linicola</i>	БФ BF	дист. вода dist. water	2446,88±569,66
7	<i>Silene caramanica</i>	ЭЭ п/к EE p/c	дист. вода dist. water	3234,38±704,36
8	<i>Silene caramanica</i>	БФ п/к BF p/c	дист. вода dist. water	9046,88±1182,10
9	<i>Silene roemeri</i>	БФ BF	дист. вода dist. water	9362,5±1716,14
10	<i>Serratula cupuliformis</i>	БФ BF	дист. вода dist. water	6421,875±839,11
11	Шафтозид / Shaftoside	ИФ IF	дист. вода dist. water	3375±440,99
12	20-гидроксиэкдизон 20-hydroxyecdysone	ИЭ IE	дист. вода dist. water	3562,5±465,49
13	<i>Inonotus obliquus</i>	ЭЭ EE	дист. вода dist. water	812,5±179,32
14	<i>Syzygium aromaticum</i>	ЭЭ EE	дист. вода dist. water	750,0±185,20
15	<i>Glycyrrhiza glabra</i> L.	ЭЭ EE	дист. вода dist. water	1375±358,64
16	<i>Lychnis chalconica</i>	БФ BF	ДМСО DMSO	84,77±15,54
17	<i>Silene viridiflora</i> (надз. часть) / (aerial part)	БФ BF	ДМСО DMSO	850,94±155,98

18	<i>Silene viridiflora</i> (семена) / (seed)	БФ	ДМСО	796,25±145,95
		ВФ	ДМСО	
19	<i>Silene colpophylla</i>	БФ	ДМСО	700,0±128,31
		ВФ	ДМСО	
20	<i>Silene graefferi</i>	БФ п/к	ДМСО	1161,56±212,91
		ВФ р/с	ДМСО	
21	<i>Silene sendtneri</i>	БФ	ДМСО	150,31±33,17
		ВФ	ДМСО	
22	<i>Silene linicola</i>	БФ	ДМСО	1012,5±250,02
		ВФ	ДМСО	
23	<i>Silene caramanica</i>	БФ п/к	ДМСО	689,06±90,03
		ВФ р/с	ДМСО	
24	<i>Silene roemeri</i>	БФ	ДМСО	2056,25±376,91
		ВФ	ДМСО	
25	<i>Serratula cupuliformis</i>	БФ	ДМСО	945,0±198,63
		ВФ	ДМСО	
26	Шафтозид / Shaftoside	ИФ	ДМСО	1785,0±440,77
		ИФ	ДМСО	
27	20-гидроксиэкдизон 20-hydroxyecdysone	ИЭ	ДМСО	2012,5±516,45
		ИЭ	ДМСО	
28	<i>Inonotus obliquus</i>	ЭЭ	ДМСО	437,5±80,19
		ЭЭ	ДМСО	
29	<i>Syzygium aromaticum</i>	ЭЭ	ДМСО	375,0±92,60
		ЭЭ	ДМСО	
30	<i>Glycyrrhiza glabra</i> L.	ЭЭ	ДМСО	875,0±169,06
		ЭЭ	ДМСО	
отриц. контроли negative controls				нет токсичности no toxicity

Примечания: БФ – бутанольная фракция; ЭЭ – этанольный экстракт; п/к – пастообразная консистенция; ИФ – индивидуальный флавоноид; ИЭ – индивидуальный экдистероид; дист. вода – дистиллированная вода; отриц. контроли – кипяченая дистиллированная вода и поддерживающая питательная среда для клеток Vero и ДМСО в объемах, соответствующих содержанию растворителя в исследуемых растительных препаратах
Note: BF – butanol fraction; EE – ethanol extract; p/c – paste-like consistency; IF – individual flavonoid, IE – individual ecdysteroid; dist. water – distilled water; negative controls are boiled distilled water and a supportive nutrient medium for Vero cells and DMSO in volumes corresponding to the solvent content in the studied herbal preparations

3. Анализ ингибирующей активности препаратов *Silene* spp., *Serratula cupuliformis* и контрольных образцов на репликацию HSV-2 при прямой инактивации (инактивации)

3.1. Анализ ингибирующей активности препаратов при растворении в воде

При показателях EC₅₀ препаратов сравнения (сухих этанольных экстрактов, растворенных в воде) против 10³ БОЕ/мл HSV-2 (по убывающей активности): специя гвоздика (№14) – 6,84±1,25 мкг/мл, чага (№13) – 13,67±2,51 мкг/мл и корень солодки (№15) – 46,88±11,57 мкг/мл, для препаратов исследуемых растений были выявлены следующие 50%-ные эффективные концентрации (по убывающей активности): для бутанольных фракций – *S. roemeri* (№9) – 2,12±0,47 мкг/мл, *Serratula cupuliformis* (№10) – 2,51±0,62 мкг/мл, для индивидуального флавоноида шафтозида (№11) – 2,86±0,63 мкг/мл, для бутанольной фракции *S. linicola* (№6) – 3,17±0,79 мкг/мл, для индивидуального экдистероида 20Е (№12) – 6,03±1,33 мкг/мл, для бутанольной фракции *S. sendtneri* (№5) – 15,234±3,36 мкг/мл, для этанольного экстракта *S. caramanica* (№7) – 18,248±4,03 мкг/мл, для бутанольных фракций – *S. caramanica* (№8) – 30,59±6,79 мкг/мл, *S. colpophylla* (№3) – 30,79±6,79 мкг/мл, *S. graefferi* (№4) – 99,12±18,17 мкг/мл, *Lychnis chalconica* (№1) – 147,27±32,50 мкг/мл и *S. viridiflora* (№2) – 180,99±49,24 мкг/мл, соответственно (табл. 2).

Таким образом, по показателям EC₅₀ несколько исследованных препаратов, растворенных в воде, превосходят по ингибирующей активности на HSV-2 самые активные препараты сравнения (гвоздику (№14) с EC₅₀=6,84±1,25 мкг/мл и чагу (№13) с EC₅₀=13,67±2,51 мкг/мл) – это бутанольные фракции *S. roemeri* (№9) – 2,12±0,47 мкг/мл, *Serratula cupuliformis* (№10) – 2,51±0,62 мкг/мл, индивидуальный флавоноид шафтозид (№11) – 2,86±0,63 мкг/мл, бутанольная фракция *S. linicola* (№6) – 3,17±0,79 мкг/мл и индивидуальный экдистероид 20Е (№12) – 6,03±1,33 мкг/мл.

3.2. Анализ ингибирующей активности препаратов при растворении в ДМСО

При показателях EC₅₀ препаратов сравнения (сухих этанольными экстрактов, растворенных в ДМСО) против 10³ БОЕ/мл HSV-2 (по убывающей активности): экстракты гвоздики (№29) – 1,71±0,31 мкг/мл, чаги (№28) – 3,41±0,62 мкг/мл и корня солодки (№30) – 21,48±5,60 мкг/мл, для препаратов исследуемых растений были выявлены следующие 50%-ные эффективные концентрации (по убывающей активности): для бутанольных фракций – *S. viridiflora* (семена) (№18) – 1,99±0,44 мкг/мл, *S. sendtneri* (№21) – 7,95±2,07 мкг/мл, *S. linicola* (№22) – 9,23±1,69 мкг/мл, *Lychnis chalconica* (№16) – 18,16±4,48 мкг/мл, *S. colpophylla* (№19) – 18,75±4,63 мкг/мл, для индивидуального экдистероида 20Е (№27) – 18,87±4,66 мкг/мл, для бутанольных фракций *S. viridiflora* (№17) – 18,99±4,87 мкг/мл и *Serratula*

cupuliformis (№25) – 21,09±5,41 мкг/мл, для индивидуального флавоноида шафтозида (№26) – 23,24±5,96 мкг/мл, для бутанольных фракций *S. graefferi* (№20) – 25,93±6,65 мкг/мл, *S. roemerii* (№24) – 27,54±6,80 мкг/мл и *S. caramanica* (№23) – 57,42±14,74 мкг/мл, соответственно (табл. 2).

Таким образом, по показателям EC₅₀ ни один из исследованных препаратов, растворенных в ДМСО, не превзошел по активности препарат сравнения – экстракт

гвоздики (№29) с EC₅₀=1,71±0,31 мкг/мл. Сравнимые показатели ингибирования выявлены только для бутанольной фракции семян *S. viridiflora* (№18) – 1,99±0,44 мкг/мл, что выше EC₅₀ экстракта чаги (№28) – 3,41±0,62 мкг/мл. Для остальных препаратов *Silene* spp. и *Serratula cupuliformis* (№25) выявлены показатели EC₅₀ чуть выше и/или сравнимые с показателями EC₅₀=21,48±5,60 мкг/мл контрольного образца – экстракта корня солодки (№30).

Таблица 2. Ингибирующая эффективность (по данным убывающей активности) растительных препаратов на HSV-2 при растворении в воде и ДМСО, а также содержание индивидуальных соединений флавоноида шафтозида и экидистероида 20-гидроксиэкидизона при определенных значениях EC₅₀

Table 2. Inhibitory efficiency (according to the data of decreasing activity) of herbal preparations on HSV-2 when dissolved in water and DMSO. Also indicated is the content of individual compounds of the flavonoid shaftoside and the ecdysteroid 20-hydroxyecdysone at certain values of EC₅₀

Ингибирующая активность растительных препаратов при растворении в воде Inhibitory activity of herbal preparations when dissolved in water	EC ₅₀ (по убывающей активности) в мкг/мл EC ₅₀ (by decreasing activity) in µg/ml	Содержание 20Е, мкг/мл (в EC ₅₀) Content of 20E, µg/ml (in EC ₅₀)	Содержание шафтозида, мкг/мл (в EC ₅₀) Content of Shaftoside, µg/ml (in EC ₅₀)
	<i>S. roemerii</i> (№9)	2,12±0,47	0,23
<i>Serratula cupuliformis</i> (№10)	2,51±0,62	0,07	-
Шафтозид (№11) / Shaftoside (N11)	2,86±0,63	-	2,86
<i>S. linicola</i> (№6)	3,17±0,79	0,24	0,39
20-гидроксиэкидизон (№12) / 20-hydroxyecdysone (N12)	6,03±1,33	6,03	-
<i>Syzygium aromaticum</i> (№14)	6,84±1,25	н.и. / n.i.	н.и. / n.i.
<i>Inonotus obliquus</i> (№13)	13,67±2,51	н.и. / n.i.	н.и. / n.i.
<i>S. sendtneri</i> (№5)	15,234±3,36	1,15	4,92
<i>S. caramanica</i> (№7)	18,248±4,03	0,17	0,76
<i>S. caramanica</i> (№8)	30,59±6,79	3,51	0,61
<i>S. colpophylla</i> (№3)	30,79±6,79	1,23	12,45
<i>Glycyrrhiza glabra</i> L. (№15)	46,88±11,57	н.и. / n.i.	н.и. / n.i.
<i>S. graefferi</i> (№4)	99,12±18,17	14,68	2,51
<i>S. chalconica</i> (№1)	147,27±32,50	4,77	20,81
<i>S. viridiflora</i> (№2)	180,99±49,24	11,91	23,98
Ингибирующая активность растительных препаратов при растворении в ДМСО Inhibitory activity of herbal preparations when dissolved in DMSO	EC ₅₀ (по убывающей активности) в мкг/мл EC ₅₀ (by decreasing activity) in µg/ml	Содержание 20Е, мкг/мл (в EC ₅₀) Content of 20E, µg/ml (in EC ₅₀)	Содержание шафтозида, мкг/мл (в EC ₅₀) Content of Shaftoside, µg/ml (in EC ₅₀)
<i>Syzygium aromaticum</i> (№29)	1,71±0,31	н.и. / n.i.	н.и. / n.i.
<i>S. viridiflora</i> (№18) (семена) / (seeds)	1,99±0,44	0,32	0,08
<i>Inonotus obliquus</i> (№28)	3,41±0,62	н.и. / n.i.	н.и. / n.i.
<i>S. sendtneri</i> (№21)	7,95±2,07	0,60	2,57
<i>S. linicola</i> (№22)	9,23±1,69	0,69	1,13
<i>S. chalconica</i> (№16)	18,16±4,48	0,59	2,57
<i>S. colpophylla</i> (№19)	18,75±4,63	0,75	7,58
20-гидроксиэкидизон (№27) / 20-hydroxyecdysone (N27)	18,87±4,66	18,87	-
<i>S. viridiflora</i> (№17)	18,99±4,87	1,25	2,52
<i>Glycyrrhiza glabra</i> L. (№30)	21,48±5,60	н.и. / n.i.	н.и. / n.i.
<i>Serratula cupuliformis</i> (№25)	21,09±5,41	0,62	-
Шафтозид (№26) / Shaftoside (N26)	23,24±5,96	-	23,24
<i>S. graefferi</i> (№20)	25,93±6,65	3,84	0,66
<i>S. roemerii</i> (№24)	27,54±6,80	3,04	4,38
<i>S. caramanica</i> (№23)	57,42±14,74	6,58	1,15

Примечания: зеленым цветом выделены результаты по контрольным образцам для сравнения;

н.и. – не исследовали; «-» – не содержит

Note: the results of the control samples for comparison are highlighted in green; n.i. – not investigated; «-» – does not contain

4. Определение индексов селективности
(Selectivity index, SI) для 50 %-х цитотоксичных и эффективных концентраций исследуемых экстрактов

рассчитывали по формуле: SI₅₀=CC₅₀/EC₅₀ как описано [42], с учетом токсичности, выявленной 48 ч и совпадающей со временем фиксации результатов по

ЦПД 10^3 БОЕ/мл HSV-2 в контрольных рядах инфицированных клеток. В результате, при распределении по убывающей предполагаемой терапевтической эффективности в виде селективного индекса исследуемые препараты (в том числе и контрольные препараты сравнения) можно распределить следующим образом: бутанольные фракции *S. roemerii* (№9, в воде) – 4412,11, *Serratula cupuliformis* (№10, в воде) – 2563,62, индивидуальный флавоноид шафтозид (№11, в воде) – 1182,14, бутанольная фракция *S. linicola* (№6, в воде) – 768,01, индивидуальный экидистероид 20Е (№12, в воде) – 590,89, бутанольная фракция семян *S. viridiflora* (№18, в ДМСО) – 398,32, бутанольная фракция *S. caramanica* (№8, в воде) – 295,77, этанольный экстракт специи гвоздики (№29, в ДМСО) – 219,56, этанольный экстракт чаги (№28, в ДМСО) – 128,30, бутанольная фракция *S. graefferi* (№4, в воде) – 128,00, этанольный экстракт гвоздики (№14, в воде) – 109,73 и бутанольная фракция *S. linicola* (№22, в ДМСО) – 109,73, индивидуальный экидистероид 20Е (№27, в ДМСО) – 106,67, бутанольная фракция *S. colporphylla* (№3, в воде) – 88,62, индивидуальный флавоноид шафтозид (№26, в ДМСО) – 76,80, бутанольная фракция *S. roemerii* (№24, в

ДМСО) – 74,67, бутанольная фракция *S. sendtneri* (№5, в воде) – 73,85, бутанольная фракция *Lychnis chalconica* (№1, в воде) – 73,14, бутанольная фракция *S. viridiflora* (№17, в ДМСО) – 44,8, бутанольная фракция *S. graefferi* (№20, в ДМСО) – 44,8, бутанольная фракция *Serratula cupuliformis* (№25, в ДМСО) – 44,8, этанольный экстракт корня солодки (№30, в ДМСО) – 40,73, бутанольная фракция *S. colporphylla* (№19, в ДМСО) – 37,33, бутанольная фракция *S. sendtneri* (№21, в ДМСО) – 18,91, бутанольная фракция *S. caramanica* (№23, в ДМСО) – 12,0, бутанольная фракция *S. viridiflora* (№2, в воде) – 10,35, бутанольная фракция *Lychnis chalconica* (№16, в ДМСО) – 4,66 (табл. 3).

Таким образом, можно отметить, что при растворении в воде растительные препараты *Silene* spp. и *Serratula cupuliformis* (*Asteraceae*) менее цитотоксичны и, соответственно, для них определяются более высокие показатели SI_{50} . В связи с этим, скорее всего, связаны и более высокие показатели потенциальной терапевтической активности исследованных растительных препаратов при заражении клеток HSV-2 по сравнению с контрольными образцами – этанольными экстрактами *S. aromaticum*, *I. obliquus* и *G. glabra*.

Таблица 3. Селективные индексы растительных препаратов (по убывающей потенциальной терапевтической активности при инфекции HSV-2) при их растворении в воде или ДМСО

Table 3. Selective indices of herbal preparations (by decreasing potential therapeutic activity in HSV-2 infection) when they are dissolved in water or DMSO

Растительный препарат и его номер Herbal preparation and its number	Растворитель Solvent	Индексы селективности (SI_{50}) по убывающей активности Selective indices (SI_{50}) by decreasing activity	Содержание 20Е, мкг/мл (в EC_{50}) Content of 20E, μ g/ml (in EC_{50})	Содержание шафтозида, мкг/мл (в EC_{50}) Content of Shaftoside, μ g/ml (in EC_{50})
<i>S. roemerii</i> (№9)	вода, water	4412,10	0,23	0,34
<i>Serratula cupuliformis</i> (№10)	вода, water	2563,62	0,07	-
шафтозид (№11) Shaftoside	вода, water	1182,14	-	2,86
<i>S. linicola</i> (№6)	вода, water	768,01	0,24	0,39
20-гидроксиэкидизон (№12) 20-hydroxyecdysone	вода, water	590,89	6,03	-
<i>S. viridiflora</i> (семена) (№18)	ДМСО, DMSO	398,32	0,32	0,08
<i>S. caramanica</i> (№8)	вода, water	295,77	3,51	0,61
<i>Syzygium aromaticum</i> (№29)	в ДМСО, in DMSO	219,56	н.и., n.i.	н.и., n.i.
<i>S. caramanica</i> (№7)	вода, water	177,23	0,17	0,76
<i>Inonotus obliquus</i> (№28)	ДМСО, DMSO	128,30	н.и., n.i.	н.и., n.i.
<i>S. graefferi</i> (№4)	вода, water	128,00	14,68	2,51
<i>Syzygium aromaticum</i> (№14)	вода, water	109,73	н.и., n.i.	н.и., n.i.
<i>S. linicola</i> (№22)	ДМСО, DMSO	109,73	0,69	1,13
20-гидроксиэкидизон (№27) 20-hydroxyecdysone	ДМСО, DMSO	106,67	18,87	-
<i>S. colporphylla</i> (№3)	вода, water	88,62	1,23	12,45
шафтозид (№26) Shaftoside	ДМСО, DMSO	76,80	-	23,24
<i>S. roemerii</i> (№24)	ДМСО, DMSO	74,67	3,04	4,38
<i>S. sendtneri</i> (№5)	вода, water	73,85	1,15	4,92
<i>S. chalconica</i> (№1)	вода, water	73,14	4,77	20,81
<i>Inonotus obliquus</i> (№13)	вода, water	59,43	н.и., n.i.	н.и., n.i.
<i>S. viridiflora</i> (№17)	ДМСО, DMSO	44,8	1,25	2,52
<i>S. graefferi</i> (№20)	ДМСО, DMSO	44,8	3,84	0,66
<i>Serratula cupuliformis</i> (№25)	ДМСО, DMSO	44,8	0,62	-

<i>Glycyrrhiza glabra</i> L. (№30)	DMCO, DMSO	40,73	н.и., n.i.	н.и., n.i.
<i>S. colpophylla</i> (№19)	DMCO, DMSO	37,33	0,75	7,58
<i>Glycyrrhiza glabra</i> L. (№15)	вода, water	29,33		
<i>S. sendtneri</i> (№21)	DMCO, DMSO	18,91,	0,60	2,57
<i>S. caramanica</i> (№23)	DMCO, DMSO	12,0,	6,58	1,15
<i>S. viridiflora</i> (№2)	вода, water	10,35,	11,91	23,98
<i>S. chalconica</i> (№16)	DMCO, DMSO	4,66	0,59	2,57

Примечания: зеленым цветом выделены результаты по контрольным образцам для сравнения;

н.и. – не исследовали; «-» – не содержит

Note: the results of the control samples for comparison are highlighted in green; n.i. – not investigated; «-» – does not contain

По данным литературы, предполагается, что ДНК-вирусы герпеса мутируют гораздо реже, чем вирусы с РНК-геномами, из-за более высокой точности ДНК-полимеразы и механизмов корректуры при репликации [7]. Однако развитие высокопроизводительных технологий секвенирования позволяет выявлять гетерогенность и высокое разнообразие, присутствующие в клинически изолированных вирусных популяциях. Кроме того, оказалось, что в одинаковых и контролируемых селективных условиях *in vitro* HSV-2 мутирует намного быстрее, чем HSV-1 [44]. Показано, что устойчивость к ацикловиру возникает из-за приобретения HSVs мутаций в генах UL23 и UL30, кодирующих тимидинкиназу и ДНК-полимеразу, соответственно [45]. Появление штаммов HSV-2, устойчивых к лекарственным препаратам определяет острую необходимость в разработке новых противовирусных препаратов с различными механизмами действия [46]. Люди являются единственным естественным хозяином HSV-2, но исследования можно проводить на чувствительных культурах клеток (*in vitro*) и на некоторых видах животных (*in vivo*) [47; 48]. Идет постоянный поиск альтернативной или дополнительной стратегии в лечении HSV-2-инфекции. Исследованию подвергаются вещества, способные ингибировать репликацию HSV-2 *in vitro* с эффективностью, сравнимой с эффективностью референтного антигерпетического препарата ацикловира [49]. Природа – очень богатый источник этих молекул [24]. Например, Hassan с соавт. показали, что эфирное масло, полученное из травы тимьяна вида *Thymus bovei* Benth. (Lamiaceae), (произрастающего в Египте), его основной компонент гераниол, эфирное масло в сочетании с ацикловиром и сам ацикловир (контроль) проявляют выраженное ингибирующее действие на репликацию HSV-2 (с инфекционным титром 10^2 ТЦПД₅₀/мл) на культуре клеток Vero со значениями полумаксимальной эффективной концентрации (EC₅₀), равными 2,13 мкг/мл, 1,92 мкг/мл, 0,81 мкг/мл, 1,94 мкг/мл и индексами селективности (SI₅₀) – 98,59; 109,38; 259,26 и 108,25, соответственно. Ингибирующую активность препаратов авторы определяли по снижению титра вируса при инфицировании монослоя клеток после предварительной их обработки разведениями эфирного масла (т.е. по «профилактической» схеме эксперимента) [42]. Эти же авторы ранее по «профилактической» схеме эксперимента *in vitro* показали почти равную с ацикловиром (EC₅₀=0,92 мкг/мл и SI₅₀=217) ингибирующую активность концентрированного выпариванием водного экстракта цветов *Hibiscus sabdariffa* L. (Malvaceae) с EC₅₀=1,43 мкг/мл и SI₅₀=140, соответственно, против HSV-2 с инфекционным титром 10^2 ТЦПД₅₀/мл [50]. Из более свежих данных это, например, прополис (натуральное смолистое вещество, вырабатываемое пчелами) был предложен для

профилактики или лечения инфекций, вызванных HSV-2. Для преодоления плохой растворимости прополиса (в связи с чем ограничено терапевтическое применение этого препарата) была использована система доставки этанолового экстракта инкапсулированного в наночастицы, состоящие из полимолочнокислой-ко-гликолевой кислоты (poly lactic-co-glycolic acid) и хитозана, в виде модифицированной эмульсии «масло в воде». Препарат был мало цитотоксичен для клеток Vero (в диапазоне от 0 до 1,25 мг/мл) и проявлял анти-HSV-2 активность (с EC₅₀ в диапазоне от 0,80±0,16 мг/мл – 2,5 мг/мл и SI₅₀=3,12) при прямой инактивации вирусных частиц (в инфекционном титре 200 БОЕ/мл), а также нарушал проникновение вириона и его высвобождение из клеток-хозяев. Кроме того, наблюдалось значительное снижение уровней экспрессии генов (ICP4, ICP27 и gB), связанных с вирусной репликацией [51]. В этой работе показан невысокий анти-HSV-2 эффект, но подход доставки потенциального лекарства интересен и его можно использовать с инкапсуляцией более активных растительных препаратов. Например, эффективное прямое влияние на инактивацию вирионов HSV-2 и блокирование «входа» в чувствительную клетку, описано в следующих работах:

- 1) метанольный экстракт листьев ботанического вида кустарникового молочая педиантуса (*Pterocarya stenoptera* C. DC., Juglandaceae) оказывает, по мнению Cheng с соавт., мощную ингибирующую активность против 10^3 БОЕ/мл HSV-2 с EC₅₀ в диапазоне концентраций 8,0–52,0 мкг/мл. Индивидуальное химическое соединение лютеолин (Luteolin), выделенное методом хроматографии, также проявило высокую активность с показателями EC₅₀=22,0–27,0 мкг/мл и EC₁₀₀=40,0–49,0 мкг/мл [52];
- 2) водный экстракт корня и коры стебля сумеха душистого (*Rhus aromatica*, Anacardiaceae) продемонстрировал высокий уровень анти-HSV-2 активности при прямой инактивации со значениями SI₅₀=628 (при этом для HSV-1 определен SI₅₀=5400). Ингибирующую активность определяли в процентном отношении – при максимальной нецитотоксической концентрации 0,25 % IC₅₀=0,0043 % для HSV-2 и 0,0005 % для HSV-1. Используя и другие схемы эксперимента, авторы сделали вывод, что растительный экстракт, по-видимому, взаимодействует не только с вирусной оболочкой, но и с поверхностью клеток-хозяев, ухудшая способность вируса адсорбироваться и проникать в эти клетки [53];
- 3) показано, что метанольный экстракт семян гармалы обыкновенной (*Peganum harmala* L., Nitrariaceae) (произрастающей в Тунисе), на культуре клеток проявил активность против 10^4 БОЕ/мл HSV-2 при ингибирующей концентрации (IC₅₀), равной 13,2 мкг/мл и SI₅₀=161, соответственно, как во время «проникновения» вируса в чувствительные клетки, так и

при «выходе» новообразованных вирионов. Тогда как эффекта защиты клеток (по «профилактической» схеме эксперимента) не наблюдалось. Индивидуальное химическое соединение (бета-карболиновый алкалоид гармин, Harmine), выделенное хроматографическим методом, проявило синергический эффект с ацикловиром и может быть полезно для пациентов с ослабленным иммунитетом при активации у них герпесвирусной инфекции [54];

4) водно-этанольный экстракт корня и стеблей хвоща гигантского (*Equisetum giganteum* L., Equisetaceae) был эффективен *in vitro* на культуре клеток против 10^2 БОЕ/мл HSV-2 с $EC_{50}=10,0-18,0$ мкг/мл, а 100 %-ное ингибирование вирусной репликации наблюдалось при концентрации 100 мкг/мл на стадии прикрепления вируса и его «входа» в клетки. Chugui с соавт. считают такие показатели мощной противовирусной активностью и далее в экспериментах *in vivo* на мышинной модели генитальной инфекции показали, что у животных линии C57bl/6 при одновременном введении им вируса и экстракта, не было клинических проявлений заболевания и репликации HSV-2 в половых путях и спинном мозге [55];

5) водно-этанольный экстракт листьев копаиферы (*Copaifera reticulata*, Fabaceae) эти же авторы определили как чуть менее эффективный препарат [55]; 6) метанольный экстракт свежей коры акации нильской (*Vachellia nilotica* L., Fabaceae), оказался эффективным против 10^5 БОЕ/мл HSV-2 при концентрации 4,71 мкг/мл (при $CC_{50}=144,0$ мкг/мл и $SI_{50}=30,6$), а к вирусному штамму, резистентному к ацикловиру, – при концентрации 6,71 мкг/мл и $SI_{50}=21,5$. Исследование механизма действия показало, что метанольный экстракт непосредственно инактивировал инфекционность вирусных частиц [56];

7) метанольный экстракт смолы фисташкового дерева (*Pistacia lentiscus* L., Anacardiaceae), растворенный в ДМСО, был активен в отношении HSV-2 (при $MOI = 0,1$) с $IC_{50}=3,63\pm 0,58$ мкг/мл и $SI_{50}=51,23$ при $CC_{50}=186,0\pm 13,74$ мкг/мл [57];

8) очищенный полифенол – галлат эпигаллокатехина (epigallocatechin gallate, EGCG) и его стабильный аналог EGCG-стеарат (EGCG-S), выделенные из листьев чая (*Camellia sinensis*, Theaceae), в концентрации 75 μ M проявили ингибирование более чем на 99,9 % за счет блокирования прикрепления вирионов HSV-2 к клеткам-хозяевам. Результаты анализа *in silico* подтверждают, что EGCG-S имеет высокую аффинность связывания с гликопротеином D и таким образом, может блокировать слияние HSV-2 и клеточной мембраны, предотвращая проникновение вируса в клетку [6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные нами результаты по ингибирующей активности исследованных экстрактов, фракций и вторичных метаболитов *Silene* spp. (Caryophyllaceae) и *Serratula cupuliformis* (Asteraceae), а также образцов сравнения – сухих этанольных экстрактов чаги (*Inonotus obliquus*, Hymenochaetaceae), специи гвоздики (*Syzygium aromaticum*, Myrtaceae) и корня солодки голой (*Glycyrrhiza glabra* L., Fabaceae) на «вход» простого герпеса 2 типа в чувствительные клетки линии Vero согласуются по эффективности с литературными данными и могут стать основой для разработки эффективных лекарственных препаратов виде

экстрактов, инкапсулированных в наночастицы, и/или составов для местного применения для снижения рецидивов хронического герпеса.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено в рамках государственного задания Минобрнауки России в Национальном исследовательском Томском государственном университете, проект № FSWM-2024-0009.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РНФ 23-64-00005 «Геномика и эволюция вирусных патогенов, вызывающих наиболее распространенные респираторные заболевания» и в рамках госзадания № 122032300158-5, выполняемого в НИИ вирусологии ФИЦ ФТМ.

ACKNOWLEDGMENT

The study was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation at National Research Tomsk State University, project no. FSWM-2024-0009.

The work was carried out with the financial support of the RNF 23-64-00005 project "Genomics and Evolution of Viral Pathogens Causing the Most Common Respiratory Diseases" and within the framework of state task no. 122032300158-5 performed at the Research Institute of Virology, Federal Research Center of Fundamental and Translational Medicine, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сайт Международного комитета по таксономии вирусов (ICTV, 2021). URL: <https://ictp.global/taxonomy> (дата обращения: 01.12.2023)
2. Gatherer D., Depledge D.P., Hartley C.A., Szpara M.L., Vaz P.K., Benkó M., Brandt C.R., Bryant N.A., Dastjerdi A., Doszpoly A., Gompels U.A., Inoue N., Jarosinski K.W., Kaul R., Lacoste V., Norberg P., Oraggi F.C., Orton R.J., Pellett P.E., Schmid D.S., Spatz S.J., Stewart J.P., Trimpert J., Waltzek T.B., Davison A.J. ICTV Virus Taxonomy Profile: Herpesviridae 2021 // J. Gen. Virol. 2021. V. 102. N 10. Article ID: 001673. DOI: 10.1099/jgv.0.001673
3. Connolly S.A., Jardetzky T.S., Longnecker R. The structural basis of herpesvirus entry // Nat. Rev. Microbiol. 2021. V. 19. N 2. P. 110–121. DOI: 10.1038/s41579-020-00448-w
4. Jambunathan N., Clark C.M., Musarrat F., Chouljenko V.N., Rudd J., Kousoulas K.G. Two Sides to Every Story: Herpes Simplex Type-1 Viral Glycoproteins gB, gD, gH/gL, gM, and Cellular Receptors Function as Key Players in Membrane Fusion // Viruses. 2021. V. 13. N 9. Article ID: 1849. DOI: 10.3390/v13091849
5. de Souza Carneiro V.C., Pereira J.G., de Paula V.S. Family Herpesviridae and neuroinfections: current status and research in progress // Mem. Inst. Oswaldo Cruz. 2022. V. 117. Article ID: e220200. DOI: 10.1590/0074-02760220200
6. Stamos J.D., Lee L.H., Taylor C., Elias T., Adams S.D. In Vitro and In Silico Analysis of the Inhibitory Activity of EGCG-Stearate against Herpes Simplex Virus-2 // Microorganisms. 2022. V. 10. N 7. Article ID: 1462. DOI: 10.3390/microorganisms10071462
7. Koelle D.M., Norberg P., Fitzgibbon M.P., Russell R.M., Greninger A.L., Huang M.-L., Stensland L., Jing L., Magaret A.S., Diem K., Selke S., Xie H., Celum C., Lingappa J.R., Jerome K.R., Wald A., Johnston C. Worldwide circulation of

- HSV-2 × HSV-1 recombinant strains // Sci. Rep. 2017. N 7. Article id: 44084. DOI: 10.1038/srep44084
8. Grünwald K., Desai P., Winkler D.C., Heymann J.B., Belnap D.M., Baumeister W., Steven A.C. Three-dimensional structure of herpes simplex virus from cryo-electron tomography // Science. 2003. V. 302. Iss. 5649. P. 1396–1398. DOI: 10.1126/science.1090284
9. Wald A., Ericsson M., Krantz E., Selke S., Corey L. Oral shedding of herpes simplex virus type 2 // Sex. Transm. Infect. 2004. V. 80. N 4. P. 272–276. DOI: 10.1136/sti.2003.007823
10. Krummenacher C., Baribaud F., de Leon M.P., Baribaud I., Whitbeck J.C., Xu R., Cohen G.H., Eisenberg R.J. Comparative usage of herpesvirus entry mediator A and nectin-1 by laboratory strains and clinical isolates of herpes simplex virus // Virology. 2004. V. 322. N 2. P. 286–299. DOI: 10.1016/j.virol.2004.02.005
11. Сайт Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ). URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/herpes-simplex-virus> (дата обращения: 01.12.2023)
12. Awasthi S., Friedman H.M. An mRNA vaccine to prevent genital herpes // Transl. Res. 2022. N 242. P. 56–65. DOI: 10.1016/j.trsl.2021.12.006
13. James C., Harfouche M., Welton N.J., Turner K.M., Abu-Raddad L.J., Gottlieb S.L., Looker K.J. Herpes simplex virus: global infection prevalence and incidence estimates, 2016 // Bull. World Health Organ. 2020. V. 98. N 5. P. 315–329. DOI: 10.2471/BLT.19.237149
14. Okonko I.O., Cookey T.I., Okerentugba P.O., Frank-Peterside N. Serum HSV-1 and -2 IgM in pregnant women in Port Harcourt, Nigeria // J. Immunoassay Immunochem. 2015. V. 36. N 4. P. 343–358. DOI: 10.1080/15321819.2014.952442
15. Wertheim J.O., Smith M.D., Smith D.M., Scheffler K., Kosakovsky Pond S.L. Evolutionary origins of human herpes simplex viruses 1 and 2 // Molecular biology and evolution. 2014. V. 31. N 9. P. 2356–2364. DOI: 10.1093/molbev/msu185
16. Kropp K.A., Srivaratharajan S., Ritter B., Yu P., Krooss S., Polten F., Pich A., Alcami A., Viejo-Borbolla A. Identification of the Cleavage Domain within Glycoprotein G of Herpes Simplex Virus Type 2 // Viruses. 2020. V. 12. N 12. Article ID: 1428. DOI: 10.3390/v12121428
17. Nath P., Kabir M.A., Doust S.K., Ray A. Diagnosis of Herpes Simplex Virus: Laboratory and Point-of-Care Techniques // Infect. Dis. Rep. 2021. V. 13. N 2. P. 518–539. DOI: 10.3390/idr13020049
18. Tronstein E., Johnston C., Huang M.-L., Selke S., Magaret A., Warren T., Corey L., Wald A. Genital shedding of herpes simplex virus among symptomatic and asymptomatic persons with HSV-2 infection // JAMA. 2011. V. 305. N 14. P. 1441–1449. DOI: 10.1001/jama.2011.420
19. Gornalusse G.G., Valdez R., Fenkart G., Vojtech L., Fleming L.M., Pandey U., Hughes S.M., Levy C.N., Cruz E.J.D., Calienes F.L., Kirby A.C., Fialkow M.F., Lentz G.M., Wagoner J., Jing L., Koelle D.M., Polyak S.J., Fredricks D.N., McElrath M.J., Wald A., Hladik F. Mechanisms of Endogenous HIV-1 Reactivation by Endocervical Epithelial Cells // J. Virol. 2020. V. 94. N 9. Article ID: e01904-19. DOI: 10.1128/JVI.01904-19
20. Huang Y., Song Y., Li J., Lv C., Chen Z.-S., Liu Z. Receptors and ligands for herpes simplex viruses: Novel insights for drug targeting // Drug Discov. Today. 2022. V. 27. N 1. P. 185–195. DOI: 10.1016/j.drudis.2021.10.004
21. Desai D., Londhe R., Chandane M., Kulkarni S. Altered HIV-1 Viral Copy Number and Gene Expression Profiles of Peripheral (CEM CCR5+) and Mucosal (A3R5.7) T Cell Lines Co-Infected with HSV-2 In Vitro // Viruses. 2022. V. 14. N 8. Article ID: 1715. DOI: 10.3390/v14081715
22. Taylor M., Gerriets V. Acyclovir // StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls, 2023.
23. Schalkwijk H.H., Snoeck R., Andrei G. Acyclovir resistance in herpes simplex viruses: Prevalence and therapeutic alternatives // Biochem. Pharmacol. 2022. N 206. Article ID: 115322. DOI: 10.1016/j.bcp.2022.115322
24. Tremblay J., Gazdova M., Smejkal K., Sudomova M., Kubatka P., Hassan S.T.S. Natural products-derived chemicals: Breaking barriers to novel anti-HSV drug development // Viruses. 2020. N 12. Article ID: 154. DOI: 10.3390/v12020154
25. Mohan S., Taha M.M.E., Makeen H.A., Alhazmi H.A., Bratty M.A., Sultana S., Ahsan W., Najmi A., Khalid A. Bioactive Natural Antivirals: An Updated Review of the Available Plants and Isolated Molecules // Molecules. 2020. V. 25. N 21. Article ID: 4878. DOI: 10.3390/molecules25214878
26. Зибарева Л.Н., Филоненко Е.С., Черняк Е.И., Морозов С.В., Котельников О.А. Флавоноиды некоторых видов растений рода *Silene* // Химия растительного сырья. 2022. N 3. С. 109–118. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220310592>
27. Shen N., Wang T., Gan Q., Liu S., Wang L., Jin B. Plant flavonoids: Classification, distribution, biosynthesis, and antioxidant activity // Food Chem. 2022. N 383. Article id: 132531. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.132531
28. Зибарева Л.Н., Амосова Е.Н., Крылова С.Г., Зуева Е.П., Рыбалкина О.Ю., Плотников М.Б., Алиев О.И., Васильев А.С., Анищенко А.М., Сулов Н.И., Нестерова Ю.В., Поветьева Т.Н., Афанасьева О.Г., Эрст А.А., Разина Т.Г., Сафонова Е.А., Киселева Е.А. Растения родов *Silene* L. и *Lychnis* L. (Caryophyllaceae): состав химических компонентов и биологическая активность. Томск: Издательство Томского государственного университета, 2021. 496 с.
29. Arif Y., Singh P., Bajguz A., Hayat S. Phytoecdysteroids: Distribution, Structural Diversity, Biosynthesis, Activity, and Crosstalk with Phytohormones // Int. J. Mol. Sci. 2022. V. 23. N 15. Article ID: 8664. DOI: 10.3390/ijms23158664
30. Nie C., Trimpert J., Moon S., Haag R., Gilmore K., Kaufer B.B., Seeberger P.H. In vitro efficacy of Artemisia extracts against SARS-CoV-2 // Virol. J. 2021. V. 18. N 1. Article ID: 182. DOI: 10.1186/s12985-021-01651-8
31. Казачинская Е.И., Романова В.Д., Иванова А.В., Чепурнов А.А., Кононова Ю.В., Шауло Д.Н., Романюк В.В., Шестопалов А.М. Ингибирующая активность сухих этанольных экстрактов *Artemisia* spp. на репликацию SARS-CoV-2 *in vitro* // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17. N 4. С. 111–129. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-111-129
32. Alvarez A.L., Habtemariam S., Juan-Badaturuge M., Jackson C., Parra F. In vitro anti HSV-1 and HSV-2 activity of Tanacetum vulgare extracts and isolated compounds: an approach to their mechanisms of action // Phytother. Res. 2011. V. 25. N 2. P. 296–301. DOI: 10.1002/ptr.3382
33. Álvarez Á.L., Habtemariam S., Moneim A.E.A., Melón S., Dalton K.P., Parra F. A spiroketal-enol ether derivative from Tanacetum vulgare selectively inhibits HSV-1 and HSV-2 glycoprotein accumulation in Vero cells // Antiviral Res. 2015. N 119. P. 8–18. DOI: 10.1016/j.antiviral.2015.04.004

34. Zibareva L., Athipornchai A., Wonganan O., Suksamrarn A. Application of ultrasound to extraction of biologically active substances of some *Serratula* species // International Journal of Food and Biosystems Engineering. 2017. V. 5. N 1. P. 31–37.
35. Зибарева Л.Н., Еремина В.И. Способ увеличения степени извлечения экидистероидов из растительных объектов // Пат. РФ N 2472519С1. 2013.
36. Казачинская Е.И., Зибарева Л.Н., Филоненко Е.С., Иванова А.В., Кононова Ю.В., Чепурнов А.А., Шестопалов А.М. Исследование ингибирующей активности экстрактов, фракций и вторичных метаболитов *Silene* spp. (*Caryophyllaceae*) и *Serratula cupuliformis* (*Asteraceae*) на репликацию коронавируса SARS-CoV-2 // Юг России: экология, развитие. 2023. Т. 18. N 1. С. 62–81. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-1-62-81
37. Разумов И.А., Косогова Т.А., Казачинская Е.И., Пучкова Л.И., Щербакова Н.С., Горбунова И.А., Михайловская И.Н., Локтев В.Б., Теплякова Т.В. Противовирусная активность водных экстрактов и полисахаридных фракций, полученных из мицелия и плодовых тел высших грибов // Антибиотики и химиотерапия. 2010. Т. 55. N 9–10. С. 14–18.
38. Казачинская Е.И., Чепурнов А.А., Шелемба А.А., Гусейнова С.А., Магомедов М.Г., Кононова Ю.В., Романюк В.В., Шестопалов А.М. Ингибирующая активность водных экстрактов чайных композиций, индивидуальных ингредиентов для их составления и некоторых растений на репликацию вируса простого герпеса 2 типа *in vitro* // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17. N 3. С. 135–152. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-3-135-152
39. Fukuchi K., Okudaira N., Adachi K., Odai-Ide R., Watanabe S., Ohno H., Yamamoto M., Kanamoto T., Terakubo S., Nakashima H., Uesawa Y., Kagaya H., Sakagami H. Antiviral and Antitumor Activity of Licorice Root Extracts // In Vivo. 2016. V. 30. N 6. P. 777–785. DOI: 10.21873/invivo.10994
40. Сулопаров М.А., Глотов А.Г., Глотова Т.И. Изучение эффективности лечебно-профилактического действия сверхмалых доз антител к гамма интерферону на экспериментальной мышинной модели герпес-вирусной инфекции // Антибиотики и химиотерапия. 2004. Т. 49. N 10. С. 3–6.
41. Шаполова Е.Г., Ломовский О.И., Казачинская Е.И., Локтев В.Б., Теплякова Т.В. Антивирусная активность композитов диоксида кремния с полифенолами, полученных механохимическим методом из растительного сырья // Химико-фармацевтический журнал. 2016. Т. 50. N 9. С. 25–29.
42. Hassan S.T.S., Berchova-Bimova K., Šudomova M., Malanik M., Smejkal K., Rengasamy K.R.R. In Vitro Study of Multi-Therapeutic Properties of *Thymus bovei* Benth. Essential Oil and Its Main Component for Promoting Their Use in Clinical Practice // J. Clin. Med. 2018. N 7. P. 283. DOI: 10.3390/jcm7090283
43. Фисенко В.П. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ. Под ред. Минздрав РФ. Москва: Ремедиум, 2000. 398 с.
44. Lopez-Muñoz A.D., Rastrojo A., Martín R., Alcamí A. Herpes simplex virus 2 (HSV-2) evolves faster in cell culture than HSV-1 by generating greater genetic diversity // PLoS Pathogens. 2021. V. 17. N 8. Article ID: e1009541. DOI: 10.1371/journal.ppat.1009541
45. Burrell S., Deback C., Agut H., Boutolleau D. Genotypic characterization of UL23 thymidine kinase and UL30 DNA polymerase of clinical isolates of herpes simplex virus: natural polymorphism and mutations associated with resistance to antivirals // Antimicrob. Agents Chemother. 2010. V. 54. N 11. P. 4833–4842. DOI: 10.1128/AAC.00669-10
46. Ding L., Jiang P., Xu X., Lu W., Yang C., Li L., Zhou P., Liu S. T-type calcium channels blockers inhibit HSV-2 infection at the late stage of genome replication // Eur. J. Pharmacol. 2021. V. 892. Article ID: 173782. DOI: 10.1016/j.ejphar.2020.173782
47. Zverev V.V., Makarov O.V., Khashukoeva A.Z., Svitich O.A., Dobrokhotova Y.E., Markova E.A., Labginov P.A., Khlinova S.A., Shulenina E.A., Gankovskaya L.V. In vitro studies of the antiherpetic effect of photodynamic therapy // Lasers Med. Sci. 2016. V. 31. N 5. P. 849–855. DOI: 10.1007/s10103-016-1912-0
48. Cardozo F.T.G.S., Larsen I.V., Carballo E.V., Jose G., Stern R.A., Brummel R.C., Camellini C.M., Rossi M.J., Simões C.M.O., Brandt C.R. In vivo anti-herpes simplex virus activity of a sulfated derivative of *Agaricus brasiliensis* mycelial polysaccharide // Antimicrob. Agents Chemother. 2013. V. 57. N 6. P. 2541–2549. DOI: 10.1128/AAC.02250-12
49. Lugini A., Sibille G., Moggetti B., Sainas S., Pippione A.C., Giorgis M., Boschi D., Lolli M.L., Gribaudo G. Effective deploying of a novel DHODH inhibitor against herpes simplex type 1 and type 2 replication // Antiviral. Res. 2021. V. 189. Article id: 105057. DOI: 10.1016/j.antiviral.2021.105057
50. Hassan S.T.S., Švajdlenka E., Berchová-Bimová K. Hibiscus sabdariffa L. and Its Bioactive Constituents Exhibit Antiviral Activity against HSV-2 and Anti-enzymatic Properties against Urease by an ESI-MS Based Assay // Molecules. 2017. V. 22. N 5. P. 722. DOI: 10.3390/molecules22050722
51. Sangboonruang S., Semakul N., Sookkree S., Kantapan J., Ngo-Giang-Huong N., Khamduang W., Kongyai N., Tragoolpua K. Activity of Propolis Nanoparticles against HSV-2: Promising Approach to Inhibiting Infection and Replication // Molecules. 2022. V. 27. N 8. Article ID: 2560. DOI: 10.3390/molecules27082560
52. Cheng H.-Y., Lin T.-C., Yang C.-M., Wang K.-C., Lin C.-C. Mechanism of action of the suppression of herpes simplex virus type 2 replication by pterocarnin A // Microbes Infect. 2004. V. 6. Iss. 8. P. 738–744. DOI: 10.1016/j.micinf.2004.03.009
53. Reichling J., Neuner A., Sharaf M., Harkenthal M., Schnitzler P. Antiviral activity of *Rhus aromatica* (fragrant sumac) extract against two types of herpes simplex viruses in cell culture // Die Pharm. Int. J. Pharm. Sci. 2009. N 64. P. 538–541.
54. Benzekri R., Bouslama L., Papetti A., Hammami M., Smaoui A., Limam F. Anti HSV-2 activity of *Peganum harmala* (L.) and isolation of the active compound // Microb. Pathog. 2018. V. 114. P. 291–298. DOI: 10.1016/j.micpath.2017.12.017
55. Churqui M.P., Lind L., Thörn K., Svensson A., Savolainen O., Aranda K.T., Eriksson K. Extracts of *Equisetum giganteum* L and *Copaifera reticulata* Ducke show strong antiviral activity against the sexually transmitted pathogen herpes simplex virus type 2 // J. Ethnopharmacol. 2018. V. 210. P. 192–197. DOI: 10.1016/j.jep.2017.08.010
56. Donalizio M., Cagno V., Civra A., Gibellini D., Musumeci G., Rittà M., Ghosh M., Lembo D. The traditional use of

Vachellia nilotica for sexually transmitted diseases is substantiated by the antiviral activity of its bark extract against sexually transmitted viruses // J. Ethnopharmacol. 2018. V. 213. P. 403–408. DOI: 10.1016/j.jep.2017.11.039

57. Benzekri R., Limam F., Bouslama L. Combination effect of three anti-HSV-2 active plant extracts exhibiting different modes of action // Adv. Tradit. Med. 2020. V. 20. P. 223–231. DOI: 10.1007/s13596-020-00430-0

REFERENCES

1. *Sait Mezhdunarodnogo komiteta po taksonomii virusov (ICTV, 2021)* [Website of the International Committee on Virus Taxonomy]. Available at: <https://ictv.global/taxonomy> (accessed 01.12.2023)
2. Gatherer D., Depledge D.P., Hartley C.A., Szpara M.L., Vaz P.K., Benkő M., Brandt C.R., Bryant N.A., Dastjerdi A., Doszpoly A., Gompels U.A., Inoue N., Jarosinski K.W., Kaul R., Lacoste V., Norberg P., Origi F.C., Orton R.J., Pellett P.E., Schmid D.S., Spatz S.J., Stewart J.P., Trimpert J., Waltzek T.B., Davison A.J. ICTV Virus Taxonomy Profile: Herpesviridae 2021. *Journal of General Virology*, 2021, vol. 102, no. 10, article id: 001673. DOI: 10.1099/jgv.0.001673
3. Connolly S.A., Jardetzky T.S., Longnecker R. The structural basis of herpesvirus entry. *Nature Reviews Microbiology*, 2021, vol. 19, no. 2, pp. 110–121. DOI: 10.1038/s41579-020-00448-w
4. Jambunathan N., Clark C.M., Musarrat F., Chouljenko V.N., Rudd J., Kousoulas K.G. Two Sides to Every Story: Herpes Simplex Type-1 Viral Glycoproteins gB, gD, gH/gL, gK, and Cellular Receptors Function as Key Players in Membrane Fusion. *Viruses*, 2021, vol. 13, no. 9, article id: 1849. DOI: 10.3390/v13091849
5. de Souza Carneiro V.C., Pereira J.G., de Paula V.S. Family Herpesviridae and neuroinfections: current status and research in progress. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 2022, vol. 117, article id: e220200. DOI: 10.1590/0074-02760220200
6. Stamos J.D., Lee L.H., Taylor C., Elias T., Adams S.D. In Vitro and In Silico Analysis of the Inhibitory Activity of EGCG-Stearate against Herpes Simplex Virus-2. *Microorganisms*, 2022, vol. 10, no. 7, article id: 1462. DOI: 10.3390/microorganisms10071462
7. Koelle D.M., Norberg P., Fitzgibbon M.P., Russell R.M., Greninger A.L., Huang M.-L., Stensland L., Jing L., Margaret A.S., Diem K., Selke S., Xie H., Celum C., Lingappa J.R., Jerome K.R., Wald A., Johnston C. Worldwide circulation of HSV-2 × HSV-1 recombinant strains. *Scientific Reports*, 2017, no. 7, article id: 44084. DOI: 10.1038/srep44084
8. Grünwald K., Desai P., Winkler D.C., Heymann J.B., Belnap D.M., Baumeister W., Steven A.C. Three-dimensional structure of herpes simplex virus from cryo-electron tomography. *Science*, 2003, vol. 302, iss. 5649, pp. 1396–1398. DOI: 10.1126/science.1090284
9. Wald A., Ericsson M., Krantz E., Selke S., Corey L. Oral shedding of herpes simplex virus type 2. *Sexually Transmitted Infections*, 2004, vol. 80, no. 4, pp. 272–276. DOI: 10.1136/sti.2003.007823
10. Krummenacher C., Baribaud F., de Leon M.P., Baribaud I., Whitbeck J.C., Xu R., Cohen G.H., Eisenberg R.J. Comparative usage of herpesvirus entry mediator A and nectin-1 by laboratory strains and clinical isolates of herpes simplex virus. *Virology*, 2004, vol. 322, no. 2, pp. 286–299. DOI: 10.1016/j.virol.2004.02.005
11. *Sait Vsemirnoi organizatsii zdravookhraneniya (VOZ)* [Website of the World Health Organization, WHO]. Available at: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/herpes-simplex-virus>] (accessed 01.12.2023)
12. Awasthi S., Friedman H.M. An mRNA vaccine to prevent genital herpes. *Translational Research*, 2022, no. 242, pp. 56–65. DOI: 10.1016/j.trsl.2021.12.006
13. James C., Harfouche M., Welton N.J., Turner K.M., Abu-Raddad L.J., Gottlieb S.L., Looker K.J. Herpes simplex virus: global infection prevalence and incidence estimates, 2016. *Bulletin of the World Health Organization*, 2020, vol. 98, no. 5, pp. 315–329. DOI: 10.2471/BLT.19.237149
14. Okonko I.O., Cooke T.I., Okerentugba P.O., Frank-Peterside N. Serum HSV-1 and -2 IgM in pregnant women in Port Harcourt, Nigeria. *Journal of Immunoassay and Immunochemistry*, 2015, vol. 36, no. 4, pp. 343–358. DOI: 10.1080/15321819.2014.952442
15. Wertheim J.O., Smith M.D., Smith D.M., Scheffler K., Kosakovsky Pond S.L. Evolutionary origins of human herpes simplex viruses 1 and 2. *Molecular biology and evolution*, 2014, vol. 31, no. 9, pp. 2356–2364. DOI: 10.1093/molbev/msu185
16. Kropp K.A., Srivaratharajan S., Ritter B., Yu P., Krooss S., Polten F., Pich A., Alcamí A., Viejo-Borbolla A. Identification of the Cleavage Domain within Glycoprotein G of Herpes Simplex Virus Type 2. *Viruses*, 2020, vol. 12, no. 12, article id: 1428. DOI: 10.3390/v12121428
17. Nath P., Kabir M.A., Doust S.K., Ray A. Diagnosis of Herpes Simplex Virus: Laboratory and Point-of-Care Techniques. *Infectious Disease Reports*, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 518–539. DOI: 10.3390/idr13020049
18. Tronstein E., Johnston C., Huang M.-L., Selke S., Margaret A., Warren T., Corey L., Wald A. Genital shedding of herpes simplex virus among symptomatic and asymptomatic persons with HSV-2 infection. *JAMA*, 2011, vol. 305, no. 14, pp. 1441–1449. DOI: 10.1001/jama.2011.420
19. Gornalusse G.G., Valdez R., Fenkart G., Vojtech L., Fleming L.M., Pandey U., Hughes S.M., Levy C.N., Cruz E.J.D., Calienes F.L., Kirby A.C., Fialkow M.F., Lentz G.M., Wagoner J., Jing L., Koelle D.M., Polyak S.J., Fredricks D.N., McElrath M.J., Wald A., Hladik F. Mechanisms of Endogenous HIV-1 Reactivation by Endocervical Epithelial Cells. *Journal of Virology*, 2020, vol. 94, no. 9, article id: e01904-19. DOI: 10.1128/JVI.01904-19
20. Huang Y., Song Y., Li J., Lv C., Chen Z.-S., Liu Z. Receptors and ligands for herpes simplex viruses: Novel insights for drug targeting. *Drug Discovery Today*, 2022, vol. 27, no. 1, pp. 185–195. DOI: 10.1016/j.drudis.2021.10.004
21. Desai D., Londhe R., Chandane M., Kulkarni S. Altered HIV-1 Viral Copy Number and Gene Expression Profiles of Peripheral (CEM CCR5+) and Mucosal (A3R5.7) T Cell Lines Co-Infected with HSV-2 In Vitro. *Viruses*, 2022, vol. 14, no. 8, article id: 1715. DOI: 10.3390/v14081715
22. Taylor M., Gerriets V. Acyclovir. In: StatPearls. Treasure Island (FL), StatPearls Publ., 2023.
23. Schalkwijk H.H., Snoeck R., Andrei G. Acyclovir resistance in herpes simplex viruses: Prevalence and therapeutic alternatives. *Biochemical Pharmacology*, 2022, no. 206, article id: 115322. DOI: 10.1016/j.bcp.2022.115322
24. Tremblé J., Gazdova M., Smejkal K., Sodomova M., Kubatka P., Hassan S.T.S. Natural products-derived chemicals: Breaking barriers to novel anti-HSV drug development. *Viruses*, 2020, no. 12, article id: 154. DOI: 10.3390/v12020154
25. Mohan S., Taha M.M.E., Makeen H.A., Alhazmi H.A., Bratty M.A., Sultana S., Ahsan W., Najmi A., Khalid A. Bioactive Natural Antivirals: An Updated Review of the Available Plants and Isolated Molecules. *Molecules*, 2020,

- vol. 25, no. 21, article id: 4878. DOI: 10.3390/molecules25214878
26. Zibareva L.N., Filonenko E.S., Chernyak E.I., Morozov S.V., Kotelnikov O.A. Flavonoids of some plant species of the genus *Silene*. *Chemistry of plant raw materials*, 2022, no. 3, pp. 109–118. (In Russian) <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220310592>
27. Shen N., Wang T., Gan Q., Liu S., Wang L., Jin B. Plant flavonoids: Classification, distribution, biosynthesis, and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 2022, no. 383, article id: 132531. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.132531
28. Zibareva L.N., Amosova E.N., Krylova S.G., Zueva E.P., Rybalkina O.Y., Plotnikov M.B., Aliyev O.I., Vasiliev A.S., Anishchenko A.M., Suslov N.I., Nesterova Yu.V., Povetyeva T.N., Afanasyeva O.G., Erst A.A., Razina T.G., Safonova E.A., Kiseleva E.A. *Rasteniya rodov Silene L. i Lychnis L. (Caryophyllaceae): sostav khimicheskikh komponentov i biologicheskaya aktivnost'* [Plants of the genera *Silene L.* and *Lychnis L.* (Caryophyllaceae): composition of chemical components and biological activity]. Tomsk, TSU Publ., 2021, 496 p. (In Russian)
29. Arif Y., Singh P., Bajguz A., Hayat S. Phytoecdysteroids: Distribution, Structural Diversity, Biosynthesis, Activity, and Crosstalk with Phytohormones. *International Journal of Molecular Sciences*, 2022, vol. 23, no. 15, article id: 8664. DOI: 10.3390/ijms23158664
30. Nie C., Trimpert J., Moon S., Haag R., Gilmore K., Kaufer B.B., Seeberger P.H. In vitro efficacy of *Artemisia* extracts against SARS-CoV-2. *Virology Journal*, 2021, vol. 18, no. 1, article id: 182. DOI: 10.1186/s12985-021-01651-8
31. Kazachinskaya E.I., Romanova V.D., Ivanova A.V., Chepurinov A.A., Kononova Y.V., Shaulo D.N., Romanyuk V.V., Shestopalov A.M. Inhibitory activity of dry ethanol extracts of *Artemisia* spp. on SARS-CoV-2 replication *in vitro*. *South of Russia: ecology, development*, 2022, vol. 17, no. 4, pp. 111–129. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-111-129
32. Alvarez A.L., Habtemariam S., Juan-Badaturuge M., Jackson C., Parra F. In vitro anti HSV-1 and HSV-2 activity of *Tanacetum vulgare* extracts and isolated compounds: an approach to their mechanisms of action. *Phytotherapy Research*, 2011, vol. 25, no. 2, pp. 296–301. DOI: 10.1002/ptr.3382
33. Álvarez Á.L., Habtemariam S., Moneim A.E.A., Melón S., Dalton K.P., Parra F. A spiroketal-enol ether derivative from *Tanacetum vulgare* selectively inhibits HSV-1 and HSV-2 glycoprotein accumulation in Vero cells. *Antiviral Research*, 2015, no. 119, pp. 8–18. DOI: 10.1016/j.antiviral.2015.04.004
34. Zibareva L., Athipornchai A., Wonganan O., Suksamrarn A. Application of ultrasound to extraction of biologically active substances of some *Serratula* species. *International Journal of Food and Biosystems Engineering*. 2017, vol. 5, no. 1, pp. 31–37.
35. Zibareva L.N., Yeriomina V.I. *Sposob uvelicheniya stepeni izvlecheniya ekdisteroidov iz rastitel'nykh ob"ektov* [A method for increasing the degree of extraction of ecdysteroids from plant objects]. Patent RF, no. 2472519C1, 2013.
36. Kazachinskaya E.I., Zibareva L.N., Filonenko E.S., Ivanova A.V., Kononova Y.V., Chepurinov A.A., Shestopalov A.M. Investigation of the inhibitory activity of extracts, fractions and secondary metabolites of *Silene* spp. (*Caryophyllaceae*) and *Serratula cupuliformis* (*Asteraceae*) on the replication of SARS-CoV-2 coronavirus. *South of Russia: ecology, development*, 2023, vol. 18, no. 1, pp. 62–81. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-1-62-81
37. Razumov I.A., Kosogova T.A., Kazachinskaya E.I., Puchkova L.I., Shcherbakova N.C., Gorbunova I.A., Mikhailovskaya I.N., Loktev V.B., Tepliyakova T.V. Antiviral activity of aqueous extracts and polysaccharide fractions obtained from mycelium and fruiting bodies of higher fungi. *Antibiotiki i khimioterapiya* [Antibiotics and chemotherapy]. 2010, vol. 55, no. 9–10, pp. 14–18. (In Russian)
38. Kazachinskaya E.I., Chepurinov A.A., Shelemba A.A., Guseinova S.A., Magomedov M.G., Kononova Yu.V., Romanyuk V.V., Shestopalov A.M. Inhibitory activity of aqueous extracts of tea compositions, individual ingredients for their preparation and some plants against replication of Herpes simplex virus type 2 *in vitro*. *South of Russia: ecology, development*, 2022, vol. 17, no. 3, pp. 135–152. (In Russian) DOI:10.18470/1992-1098-2022-3-135-152
39. Fukuchi K., Okudaira N., Adachi K., Odai-Ide R., Watanabe S., Ohno H., Yamamoto M., Kanamoto T., Terakubo S., Nakashima H., Uesawa Y., Kagaya H., Sakagami H. Antiviral and Antitumor Activity of Licorice Root Extracts. *In Vivo*, 2016, vol. 30, no. 6, pp. 777–785. DOI: 10.21873/invivo.10994
40. Susloparov M.A., Glotov A.G., Glotova T.I. To study the effectiveness of the therapeutic and prophylactic effect of ultra-low doses of antibodies to gamma interferon on an experimental mouse model of herpes virus infection. *Antibiotiki i khimioterapiya* [Antibiotics and chemotherapy]. 2004, vol. 49, no. 10, pp. 3–6. (In Russian)
41. Shapolova E.G., Lomovskii O.I., Kazachinskaya E.I., Loktev V.B., Tepliyakova T.V. Antiviral Activity of Silicon Dioxide Composites with Polyphenols Obtained by Mechanochemical Method from Plant Raw Materials. *Khimiko-farmatsevticheskii zhurnal* [Chemico-pharmaceutical Journal]. 2016, vol. 50, no. 9, pp. 25–29. (In Russian)
42. Hassan S.T.S., Berchova-Bimova K., Šudomova M., Malanik M., Smejkal K., Rengasamy K.R.R. In Vitro Study of Multi-Therapeutic Properties of *Thymus bovei* Benth. Essential Oil and Its Main Component for Promoting Their Use in Clinical Practice. *Journal of Clinical Medicine*, 2018, no. 7, p. 283. DOI: 10.3390/jcm7090283
43. Fisenko V.P. *Rukovodstvo po eksperimental'nomu (doklinicheskomu) izucheniyu novykh farmakologicheskikh veshchestv* [Guidelines for experimental (preclinical) study of new pharmacological substances. In accordance with the order]. Moscow, Remedium Publ., 2000, 398 p. (In Russian)
44. Lopez-Muñoz A.D., Rastrojo A., Martín R., Alcamí A. Herpes simplex virus 2 (HSV-2) evolves faster in cell culture than HSV-1 by generating greater genetic diversity. *PLoS Pathogens*, 2021, vol. 17, no. 8, article id: e1009541. DOI: 10.1371/journal.ppat.1009541
45. Burrell S., Deback C., Agut H., Boutolleau D. Genotypic characterization of UL23 thymidine kinase and UL30 DNA polymerase of clinical isolates of herpes simplex virus: natural polymorphism and mutations associated with resistance to antivirals. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 2010, vol. 54, no. 11, pp. 4833–4842. DOI: 10.1128/AAC.00669-10
46. Ding L., Jiang P., Xu X., Lu W., Yang C., Li L., Zhou P., Liu S. T-type calcium channels blockers inhibit HSV-2 infection at the late stage of genome replication. *European Journal of Pharmacology*, 2021, vol. 892, article id: 173782. DOI: 10.1016/j.ejphar.2020.173782
47. Zverev V.V., Makarov O.V., Khashukoeva A.Z., Svitich O.A., Dobrokhotova Y.E., Markova E.A., Labginov P.A., Khlinova S.A., Shulenina E.A., Gankovskaya L.V. In vitro studies of the antiherpetic effect of photodynamic therapy.

- Lasers in Medical Science*, 2016, vol. 31, no. 5, pp. 849–855. DOI: 10.1007/s10103-016-1912-0
48. Cardozo F.T.G.S., Larsen I.V., Carballo E.V., Jose G., Stern R.A., Brummel R.C., Camelini C.M., Rossi M.J., Simões C.M.O., Brandt C.R. In vivo anti-herpes simplex virus activity of a sulfated derivative of *Agaricus brasiliensis* mycelial polysaccharide. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 2013, vol. 57, no. 6, pp. 2541–2549. DOI: 10.1128/AAC.02250-12
49. Lugini A., Sibille G., Moggetti B., Sainas S., Pippione A.C., Giorgis M., Boschi D., Lolli M.L., Gribaudo G. Effective deploying of a novel DHODH inhibitor against herpes simplex type 1 and type 2 replication. *Antiviral Research*, 2021, vol. 189, article id: 105057. DOI: 10.1016/j.antiviral.2021.105057
50. Hassan S.T.S., Švajdenka E., Berchová-Bímová K. Hibiscus sabdariffa L. and Its Bioactive Constituents Exhibit Antiviral Activity against HSV-2 and Anti-enzymatic Properties against Urease by an ESI-MS Based Assay. *Molecules*, 2017, vol. 22, no. 5, p. 722. DOI: 10.3390/molecules22050722
51. Sangboonruang S., Semakul N., Sookkree S., Kantapan J., Ngo-Giang-Huong N., Khamduang W., Kongyai N., Tragoolpua K. Activity of Propolis Nanoparticles against HSV-2: Promising Approach to Inhibiting Infection and Replication. *Molecules*, 2022, vol. 27, no. 8, article id: 2560. DOI: 10.3390/molecules27082560
52. Cheng H.-Y., Lin T.-C., Yang C.-M., Wang K.-C., Lin C.-C. Mechanism of action of the suppression of herpes simplex virus type 2 replication by pterocarnin A. *Microbes and Infection*, 2004, vol. 6, iss. 8, pp. 738–744. DOI: 10.1016/j.micinf.2004.03.009
53. Reichling J., Neuner A., Sharaf M., Harkenthal M., Schnitzler P. Antiviral activity of *Rhus aromatica* (fragrant sumac) extract against two types of herpes simplex viruses in cell culture. *Die Pharmazie—An International Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2009, no. 64, pp. 538–541.
54. Benzekri R., Bouzlama L., Papetti A., Hammami M., Smaoui A., Limam F. Anti HSV-2 activity of *Peganum harmala* (L.) and isolation of the active compound. *Microbial Pathogenesis*, 2018, vol. 114, pp. 291–298. DOI: 10.1016/j.micpath.2017.12.017
55. Churqui M.P., Lind L., Thörn K., Svensson A., Savolainen O., Aranda K.T., Eriksson K. Extracts of *Equisetum giganteum* L and *Copaifera reticulata* Ducke show strong antiviral activity against the sexually transmitted pathogen herpes simplex virus type 2. *Journal of Ethnopharmacology*, 2018, vol. 210, pp. 192–197. DOI: 10.1016/j.jep.2017.08.010
56. Donalizio M., Cagno V., Civra A., Gibellini D., Musumeci G., Rittà M., Ghosh M., Lembo D. The traditional use of *Vachellia nilotica* for sexually transmitted diseases is substantiated by the antiviral activity of its bark extract against sexually transmitted viruses. *Journal of Ethnopharmacology*, 2018, vol. 213, pp. 403–408. DOI: 10.1016/j.jep.2017.11.039
57. Benzekri R., Limam F., Bouzlama L. Combination effect of three anti-HSV-2 active plant extracts exhibiting different modes of action. *Advances in Traditional Medicine*, 2020, vol. 20, pp. 223–231. DOI: 10.1007/s13596-020-00430-0

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Елена И. Казачинская провела эксперименты по исследованию ингибирующей активности, обработала результаты, оформила литературный обзор. Лариса Н. Зибарева внесла идею исследования, оформила литературный обзор, приготовила препараты *Silene* spp., провела анализ результатов ВЭЖХ. Елена С. Филоненко приготовила препараты *Silene* spp., провела анализ БАВ ВЭЖХ. Алла В. Иванова приготовила образцы сравнения, провела тестирование цитотоксичности растительных препаратов. Александр А. Чепурнов наработал вирус. Юлия В. Кононова культивировала клетки Vero, провела титрование вируса и подготовку аликвот с определенным инфекционным титром. Александр М. Шестопалов руководил организационной и материальной частью лабораторного исследования. Все вышеуказанные авторы участвовали в обсуждении полученных результатов в формате научной дискуссии. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи, и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Elena I. Kazachinskaja conducted experiments to study inhibitory activity, processed the results and also designed a literature review. Larisa N. Zibareva introduced the idea of the study, designed a literature review, prepared *Silene* spp. preparations and analysed the results of HPLC. Elena S. Filonenko prepared preparations of *Silene* spp. and conducted an analysis of BAS HPL. Alla V. Ivanova prepared comparison samples and tested the cytotoxicity of herbal preparations. Alexander A. Chepurnov cultivated the virus. Yulia V. Kononova cultured Vero cells, titrated the virus and prepared aliquots with a certain infectious titer. Alexander M. Shestopalov led the organizational and material aspect of the laboratory research. All of the above authors participated in the discussion of the results obtained in the format of a scientific discussion. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Елена И. Казачинская / Elena I. Kazachinskaja <https://orcid.org/0000-0002-1856-6147>

Лариса Н.Зибарева / Larisa N. Zibareva <https://orcid.org/0000-0002-4417-8340>

Елена С. Филоненко / Elena S. Filonenko <https://orcid.org/0000-0002-4287-8327>

Алла В. Иванова / Alla V. Ivanova <https://orcid.org/0000-0001-9102-6756>

Юлия В. Кононова / Yulia V. Kononova <https://orcid.org/0000-0002-3677-3668>

Александр А. Чепурнов / Alexander A. Chepurnov <https://orcid.org/0000-0002-5966-8633>

Александр М. Шестопалов / Alexander M. Shestopalov <https://orcid.org/0000-0002-9734-0620>

Оригинальная статья / Original article

УДК 616-036.22

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-4



Генетическое разнообразие вируса гепатита С и распространенность мутаций резистентности к ингибиторам NS5A в Красноярском крае

Василий Е. Екушов¹, Алексей В. Тотменин¹, Людмила Г. Готфрид¹,
Максим Р. Халиков¹, Виталла-Виктория В. Миниханова², Сергей Е. Скударнов²,
Татьяна С. Остапова², Наталья М. Гашникова¹

¹Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора, Кольцово, Россия

²Красноярский краевой Центр профилактики и борьбы со СПИД, Красноярск, Россия

Контактное лицо

Василий Е. Екушов, младший научный сотрудник, ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора; 630559 Россия, Новосибирская область, г. Новосибирск, рп. Кольцово.
Тел. +79134706331
Email Treijd460297@gmail.com
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0465-1260>

Формат цитирования

Екушов В.Е., Тотменин А.В., Готфрид Л.Г., Халиков М.Р., Миниханова В.-В.В., Скударнов С.Е., Остапова Т.С., Гашникова Н.М. Генетическое разнообразие вируса гепатита С и распространенность мутаций резистентности к ингибиторам NS5A в Красноярском крае // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 1. С. 47-59. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-4

Получена 2 декабря 2023 г.

Прошла рецензирование 24 декабря 2023 г.

Принята 15 января 2024 г.

Резюме

Цель – исследовать молекулярно-генетические особенности популяции ВГС, циркулирующей среди ВИЧ-инфицированных жителей Красноярского края, включая анализ мутаций вируса, связанных с резистентностью к ингибиторам NS5A.

Из 94 образцов плазмы крови ВИЧ/ВГС-инфицированных жителей края выделена суммарная РНК, получены и расшифрованы нуклеотидные последовательности областей гена Core/E1 и гена NS5A, которые использовали для генотипирования и поиска мутаций резистентности.

В изученной выборке ВГС зарегистрирована циркуляция пяти субтипов вируса: 1b (47,9 %), 3a (37,2 %), 1a (10,6 %), 2a (3,2 %) и 2k (1,1 %). Филогенетический анализ ВГС выявил частичную кластеризацию внутри субтипов 1a и 3a по территориальному принципу. ВГС субтипа 1b, 2a и 2k группировались с другими ВГС, выделенными ранее в России, Армении и Кыргызстане. Среди исследованных ВГС не было найдено кластеров, общих для ВИЧ-инфицированных лиц с одним путем заражения. Среди пациентов, не имевших опыта приема ПППД, мутации резистентности ВГС в области NS5A для лиц, инфицированных вирусом субтипа 3a, были обнаружены у 42,3 % случаев, для инфицированных ВГС субтипа 1b – в 75,6 % случаев.

Выполненный анализ разнообразия и встречаемости мутаций лекарственной устойчивости ВГС к препаратам прямого противовирусного действия крайне важен для разработки тактики эффективного лечения ХГС. Высокий уровень распространенности полиморфных мутаций, влияющих на чувствительность к ПППД, указывает на актуальность внедрения анализа резистентности ВГС в клиническую практику.

Ключевые слова

ВГС, генотипы ВГС, резистентность ВГС, мутации лекарственной устойчивости, NS5A, ПППД, генетический полиморфизм.

Genetic diversity of hepatitis C virus and the prevalence of resistance mutations to NS5A inhibitors in the Krasnoyarsk region

Vasily E. Ekushov¹, Alexei V. Totmenin¹, Ludmila G. Gotfrid¹, Maksim R. Halikov¹, Vitalla-Victoria V. Minikhanova², Sergey E. Skudarnov², Tatyana S. Ostapova² and Natalya M. Gashnikova¹

¹Vector State Research Centre of Virology and Biotechnology, Rospotrebnadzor, Koltsovo, Russia

²Krasnoyarsk Regional Centre for Prevention and Control of AIDS, Krasnoyarsk, Russia

Principal contact

Vasily E. Ekushov, Junior Researcher, Vector State Research Centre of Virology and Biotechnology; Koltsovo, Novosibirsk, Novosibirskiy region, Russia 630559.

Tel. +79134706331

Email Trejtd460297@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0465-1260>

How to cite this article

Ekushov V.E., Totmenin A.V., Gotfrid L.G., Halikov M.R., Minikhanova V.-V.V., Skudarnov S.E., Ostapova T.S., Gashnikova N.M. Genetic diversity of hepatitis C virus and the prevalence of resistance mutations to NS5A inhibitors in the Krasnoyarsk region. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(1):47-59. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-4

Received 2 December 2023

Revised 24 December 2023

Accepted 15 January 2024

Abstract

To research the molecular genetic characteristics of the HCV population circulating among HIV-infected residents of the Krasnoyarsk Territory, including analysis of resistance-associated mutations to NS5A inhibitors.

Total RNA was isolated from 94 blood plasma samples from HIV/HCV-infected residents of the region and the nucleotide sequences of the Core/E1 gene and NS5A gene regions were obtained and deciphered, which were used for genotyping and searching for resistance mutations.

In the HCV samples studied, the circulation of five virus subtypes was recorded: 1b (47,9 %), 3a (37,2 %), 1a (10,6 %), 2a (3,2 %) and 2k (1,1 %). Phylogenetic analysis of HCVs revealed partial clustering within subtypes 1a and 3a on a territorial basis. HCV subtypes 1b, 2a and 2k were grouped with other HCVs previously isolated in Russia, Armenia and Kyrgyzstan. Among the HCVs studied, no clusters were found that were common to HIV-infected individuals with the same route of infection. Among patients who had no experience of taking DAAs, HCV resistance mutations in the NS5A region were found in 42,3 % of cases for those infected with subtype 3a virus and in 75,6 % of cases for those infected with HCV subtype 1b.

The analysis of the diversity and occurrence of mutations of HCV drug resistance to direct antiviral drugs is extremely important for the development of tactics for effective treatment of CHC. The high prevalence of polymorphic mutations that affect sensitivity to DAAs indicates the relevance of introducing HCV resistance analysis into clinical practice.

Key Words

HCV, Hepatitis C subtypes, RASs, NS5A, DAAs, genetic polymorphism.

ВВЕДЕНИЕ

Вирус гепатита С (ВГС) вызывает одно из наиболее распространённых заболеваний печени во всем мире. Вирусный гепатит С протекает как в острой, так и в хронической форме, может приводить к формированию цирроза печени и гепатоцеллюлярной карциномы [1].

Вирус гепатита С принадлежит к роду *Hepacivirus* семейства *Flaviviridae*. Он имеет одноцепочечный несегментированный +РНК-геном длиной около 9600 нуклеотидов (нт) и одну длинную открытую рамку считывания, кодирующую полипротеин из 3000 аминокислот с порядком генов С-Е1-Е2-р7-NS2-NS3-NS4А-NS4В-NS5А-NS5В. Структурными белками вируса являются Core (нуклеокапсид), Е1 и Е2 (гликопротеины оболочки). Белок р7 является ионным каналом. Области от NS2 до NS5 кодируют неструктурные белки; NS2 представляет собой трансмембранный белок; NS3 играет двойную роль: сериновой протеазы и РНК-хеликазы; NS4А является кофактором NS3; NS4В представляет собой мембраносвязанный белок; NS5А является компонентом репликазного комплекса, а NS5В – РНК-зависимой РНК-полимеразой [2; 3].

Активное распространение вирусного гепатита С и рост смертности среди людей от данного заболевания являлись результатом распространения ВГС в XX веке, связанным с инъекционными методами лечения, в том числе, с переливанием донорской крови до глобального скрининга банков крови по всему миру на наличие ВГС в донорской крови и с широким распространением инъекционных наркотиков [4]. По оценкам специалистов основными путями передачи ВГС остаются инъекционное употребление наркотиков и небезопасное медицинское обслуживание [5]. В группу риска инфицирования ВГС входят ВИЧ-инфицированные люди, которые имеют ослабленный иммунитет и, как следствие, повышенный шанс инфицироваться при незащищенном половом контакте, особенно среди мужчин, практикующих секс с мужчинами (МСМ). Различные исследования показали, что шанс заражения ВГС в шесть раз выше у людей, живущих с ВИЧ, чем у людей без ВИЧ-инфекции [6].

Разработка эффективных препаратов прямого противовирусного действия (ПППД) предоставила шанс не только снизить заболеваемость вирусным гепатитом С, но и добиться полной элиминации ВГС. В настоящее время золотым стандартом лечения гепатита С является безинтерфероновая комбинированная противовирусная терапия прямого противовирусного действия с рибавирином или без него. К трем основным классам препаратов ПППД, которые блокируют репликацию и посттрансляционный процессинг ВГС, относятся ингибиторы протеазы NS3/4А («previrs»), препятствующие протеолитическому процессингу полипротеина ВГС, блокируя сериновую протеазу NS3/4А; ингибиторы полимеразы NS5В («buvirs»), воздействующие на репликацию вирусной РНК путем ингибирования РНК-зависимой РНК-полимеразы (RdRp), две подгруппы которых являются аналогами нуклеозидов/-тидов; ингибиторы NS5А («asvirs»), влияющие на репликацию и сборку вируса, блокируя белок NS5А [7].

Терапия ПППД демонстрирует устойчивый вирусологический ответ, в среднем >90 %, по сравнению с 40–50 % устойчивого вирусологического ответа при использовании интерферона и рибавирина при инфекции ВГС генотипов 1 и 4, 60–70 % при

генотипах 5 и 6 и 80–90 % при генотипах 2 и 3. Доступность терапии ПППД расширяет возможность излечения от хронического гепатита С (ХГС) для различных групп пациентов, которые в эпоху интерферона не рассматривались для назначения терапии, например, пациенты с заболеваниями печени, аутоиммунными заболеваниями, почечной недостаточностью или пациенты после трансплантации органов [8].

МЛУ (мутации лекарственной устойчивости) ВГС, влияющие на чувствительность вируса к нуклеотидному ингибитору NS5В софосбувиру, не наблюдаются у лиц, ранее не получавших лечения, и встречаются достаточно редко у лиц с неэффективным лечением [9; 10]. Многие мутации, обеспечивающие устойчивость ВГС к ПППД, подавляют репликацию вируса, например S282T (NS5В) [9]. Следовательно, эти мутации не имеют клинического значения, поскольку они не изменяют общий эффект софосбувира, и поэтому тестирование на резистентность NS5В не рекомендуется в рутинном порядке для пациентов, которые ранее не получали лечение или проходили лечение в прошлом [11]. Связанные с резистентностью мутации в геноме вируса, влияющие на ингибиторы NS5А, имеют наибольшую клиническую значимость [11]. Ингибиторы NS5А действуют путем ингибирования гиперфосфорилирования, необходимого для репликации вируса [12]. Примерами препаратов класса ингибиторов NS5А являются ледипасвир, даклатавир, элбасвир, омбитасвир и велпатасвир [13].

Так как в России не существует коммерческого варианта теста для определения мутаций лекарственной устойчивости ВГС к ПППД, исследование резистентности ВГС проводятся для ограниченного выборка инфицированных лиц. Распространенность МЛУ в области NS5А ВГС может различаться в зависимости от географического региона как страны, так и мира [14; 15]. Основное бремя инфекции ВГС в России лежит на потребителях инъекционных наркотиков (ПИН) и людях с ослабленным иммунитетом (около 70 %) [16]. Передача ВГС среди ПИН и повторное инфицирование ВГС сильно осложняют процесс элиминации ВГС. Благодаря множественным реинфекциям циркулирующие среди ПИН варианты ВГС с МЛУ могут получать распространение и выходить за пределы данной группы риска.

В этой связи выполненное в рамках настоящей работы исследование молекулярно-генетических особенностей популяции ВГС, циркулирующей среди ВИЧ-инфицированных жителей Красноярского края, включая анализ разнообразия и встречаемости мутаций вируса к ингибиторам NS5А, является актуальным.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе использована коллекция образцов периферической крови ВИЧ-инфицированных пациентов, проживающих на территории Красноярского края. Сбор 408 образцов и клинико-эпидемиологических данных пациентов проводился «Красноярским краевым Центром профилактики и борьбы со СПИД» в 2021–2023 гг. От каждого пациента было получено информированное согласие на участие в исследовании с гарантиями анонимного использования полученных данных в соответствии с требованиями этических норм России. Клинико-эпидемиологические данные

пациентов включали возраст пациента, его пол, вероятный путь заражения, наличие терапии, направленной против ВГС, схему терапии и ее продолжительность. РНК ВГС выделяли из плазмы крови с использованием набора "РИБО-золь-С (для первого этапа) и «РИБО-преп» (для второго этапа) («АмплиСенс», Россия) в рамках инструкции производителя. Для получения целевых фрагментов области Core/E1 (~1000 п.н.) ВГС и области, кодирующей ген NS5A (~1000 п.н.) ВГС, применялась двухстадийная ПЦР с вирус-специфическими праймерами. Первая ПЦР была совмещена с реакцией обратной транскрипции, для амплификации был использован набор БиоМастер ОТ-ПЦР-Экстра (2x) производства «ООО Биолабмикс» (Россия) и набор лабораторных праймеров. Для второго раунда ПЦР использовался набор БиоМастер HS-Taq ПЦР-Color (2x) производства «ООО Биолабмикс» и набор лабораторных праймеров. Последующее секвенирование амплифицированных фрагментов ДНК ВГС выполняли с использованием набора реагентов «BigDye terminator™ v3.1.» на автоматическом секвенаторе 3130xl (AppliedBiosystems, США). Расшифрованные фрагменты гена Core/E1 и NS5A собирались и сравнивались с референсными последовательностями ВГС в программе Sequencher 4.1 (GeneCodesCorporation, Ann Arbor, MI). Собранные фрагменты ВГС сопоставляли со стандартными последовательностями разных субтипов и рекомбинантных форм ВГС из международной базы данных (International Committee on Taxonomy of Viruses: ICTV) в программе MEGA11 и AliView [17; 18]. Множественное выравнивание проводилось при помощи сайта RIMD [19] с использованием алгоритма MAFFT version 7 со стандартными настройками. Для идентификации близкородственных штаммов ВГС полученные нуклеотидные последовательности анализировались в программе BLAST в сравнении с последовательностями, представленными в международной базе данных GenBank (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>). Для исследуемых последовательностей ВГС был проведен филогенетический анализ с использованием метода максимального правдоподобия. Филогенетическое дерево было построено при помощи ресурса IQTree v1.6.12. [20] с бутстрепом 1000 повторов на основе модели замещения GTR+I+G, для оценки топологии использовался анализ бутстрепов. Для анализа мутаций резистентности использовался сайт HCV-GLUE v.0.1.33 [21; 22].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках изучения генетического разнообразия и резистентности ВИЧ-1 и ВГС был осуществлен сбор клинических образцов периферической крови 408 пациентов центра СПИД Красноярского края. Доля больных гепатитом С составили 53,2 % (n=217). Выборка пациентов с ко-инфекцией ВИЧ/ВГС включала 30,9 % женщин и 69,1 % мужчин, средний возраст составил 41 год. О потреблении инъекционных наркотиков (ПИН) сообщили 71,0 % (n=154) пациентов, среди них 23,4 % (n=36) женщин и 76,6 % (n=118) мужчин, вид потребляемых наркотиков не был указан. Из пациентов с сочетанной инфекцией ВИЧ/ВГС была сформирована случайная выборка 94 человек для молекулярно-генетического исследования ВГС, которая включала 74,5 % ПИН (68,6 % мужчин и 31,4 % женщин), 23,4 % лиц, инфицированных ВИЧ при гетеросексуальных

контактах (63,6 % мужчин и 36,4 % женщин), в 2,1 % случаев путь заражения ВИЧ не был установлен.

Выполненный филогенетический анализ выявил среди исследованной выборки ВГС вирусы пяти субтипов: 1a – 10,6 % (n=10), 1b – 47,9 % (n=45), 2a – 3,2 % (n=3), 2k – 1,1 % (n=1) и 3a – 37,2 % (n=35) (рис. 1). В целом распределение ВГС по субтипам согласуется с данными других исследований, указывающих на доминирование ВГС 1b и 3a в популяции вирусов, циркулирующих на территориях России [23–26].

Единственный случай заражения вариантом ВГС субтипа 2k был зарегистрирован у мужчины 40 лет, ПИН. Этот вирус группировался с другими ВГС данного геноварианта, выделенными ранее в России. Три варианта ВГС субтипа 2a, выделенные в Красноярском крае, формировали филогенетическую ветвь генетически близких вирусов с вариантами из Республики Армения и Кыргызстана, коэффициент поддержки составил 92. В двух случаях субтип 2a ВГС был выделен у женщин, проживающих в Красноярске, инфицированных ВИЧ при гетеросексуальных контактах, и мужчины, сообщившем о потреблении инъекционных наркотиков, жителя Лесосибирска.

Семь образцов ВГС субтипа 1a из 10 найденных вирусов данного генотипа оставили общий филогенетический кластер генетически близких вирусов, который включал жителей Красноярского края 36–40 лет, 1 женщина, инфицированная ВИЧ гетеросексуально, и 6 мужчин, 4 из которых ПИН. Один ВГС субтипа 1a, выделенный у женщины 36 лет, ПИН, достоверно группировался с вирусом, выделенным в Республике Армения в 2022 г., два других, не входящих в описанную для жителей Красноярского края группу из 7 образцов ВГС субтипа 1a, были выделены у мужчин 24 и 36 лет, ПИН.

Филогенетический анализ 35 образцов, отнесенных по результатам генотипирования к субтипу 3a, показал, что 12 последовательностей из Красноярского края кластеризуются вместе с коэффициентом поддержки 96. Образцы из Красноярского края располагаются на общих ветвях вместе с последовательностями из Республики Армения и Кыргызстана, а также с полученной в 1994 г. референсной последовательностью ВГС субтипа 3a из Японии. Для ВГС 1b, циркулирующих на изучаемой территории, отсутствовала кластеризация по каким-либо признакам, образцы на филогенетическом дереве распределились между другими ВГС, выделенными в России, Кыргызстане, Армении и Швейцарии.

Выполненный филогенетический анализ для ВГС, выделенных в Красноярском крае, выявил лишь некоторую кластеризацию вирусов субтипов 1a и 3a по территориальному принципу. Среди всех исследованных ВГС не было найдено кластеров, общих для ВИЧ-инфицированных лиц с одним путем заражения.

Так как наиболее клинически важные замены, связанные с устойчивостью ВГС к ПППД, происходят в неструктурном белке 5A (NS5A), актуальным является изучение как полиморфных мутаций в данной области генома, так и мутаций, возникающих и закрепляющихся в ответ на применение ингибиторов NS5A [11]. Ранее было показано, что эффект полиморфизмов в области NS5A зависит от генотипа и субтипа ВГС и оказывает наибольшее влияние на генотипы 1 и 3 [11].

Дополнительно для 77 образцов ВГС 1b и 3a были получены фрагменты гена NS5A с целью их

анализа на наличие мутаций, связанных с резистентностью к препаратам прямого противовирусного действия. Поиск клинически значимых МЛУ в NS5A ВГС осуществляли в соответствии с рекомен-

дациями Европейской ассоциации по изучению печени [27] и с перечнем мутаций, связанных с резистентностью, согласно сайту HCV-GLUE [21; 22].

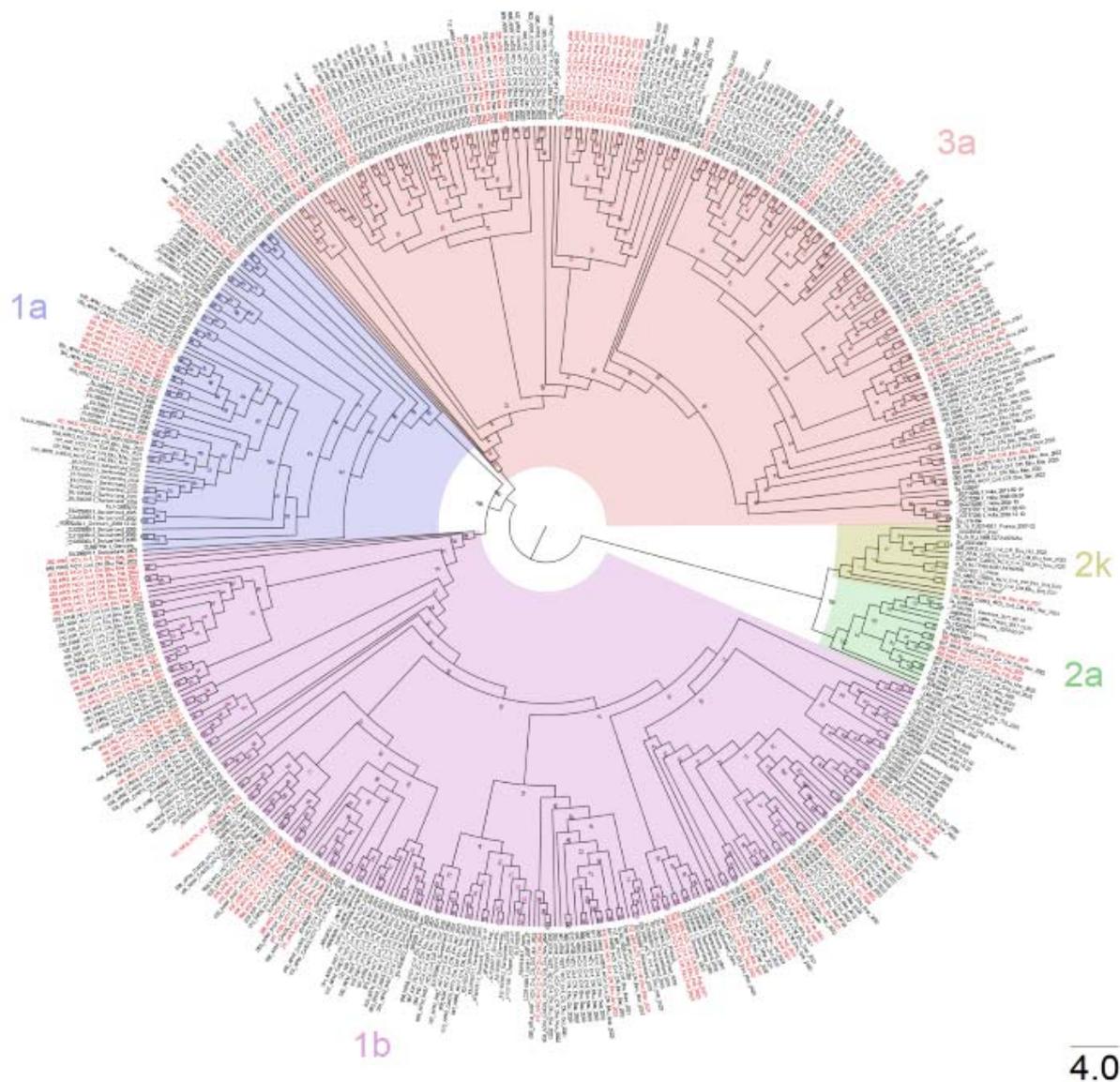


Рисунок 1. Филогенетическое дерево фрагмента гена Core/E1 ВГС

Проанализированные последовательности ВГС, выделенные от жителей Красноярского края, отмечены красным шрифтом; референсные последовательности ВГС обозначены черным шрифтом. Цветом выделены филогенетические кластеры отдельных геновариантов ВГС: 3a, 1b, 1a, 2k и 2a

Figure 1. Phylogenetic tree of HCV Core/E1 gene fragment

Analysed HCV sequences isolated from residents of the Krasnoyarsk Territory are marked in red; HCV reference sequences are indicated in black. Phylogenetic clusters of individual HCV genovariants are highlighted in colour: 3a, 1b, 1a, 2k and 2a

В исследуемую выборку пациентов вошли 32,5 % (n=25) женщин и 67,5 % (n=52) мужчин. Из 77 пациентов 13,0 % (n=10) получали противовирусную терапию, основанную на ПППД, в период с 2019 по 2023 гг.

Если при применении схемы, содержащей ингибитор NS5A, возникает неэффективность лечения, у большинства пациентов регистрируются замены, связанные с резистентностью в области NS5A (отмечено от 75 до 90 %) [10; 28; 29]. МЛУ в области NS5A достаточно хорошо закрепляются в геноме и практически не снижают репликативную способность

вируса. Показано, что такие мутации могут сохраняться в геноме ВГС не менее 2-х лет [28; 30].

Из 4-х пациентов данного исследования, имевших опыт неэффективного лечения ПППД (табл. 1), инфицированных ВГС генотипа 1b, в трех случаях из 4-х была обнаружена лишь одна мутация F37L. Мутация F37L является полиморфной, то есть может встречаться и в «диком» варианте вируса гепатита С. Предполагается, что данный полиморфизм дает вирусу незначительную устойчивость к даклатасвиру [31], однако эта информация все еще остается спорной [31; 32].

Таблица 1. Разнообразие и распространенность выявленных мутаций в области гена NS5A ВГС субтипов 1b и 3a, связанных с развитием резистентности вируса среди пациентов, получавших ПППД
Table 1. Diversity and prevalence of mutations identified in the NS5A gene region of HCV subtypes 1b and 3a associated with the development of viral resistance among patients receiving DAAs

№	Субтип Subtype	Мутация Mutation	Уровень устойчивости Resilience level	ПППД DAAs	Схема терапии Treatment regimen	Начало терапии Start of therapy	Окончание терапии End of therapy
191	3a	-	-	-	Софосбувир+ Даклатасвир SOF+DCV	28.03.2022	20.06.2022
213	3a	-	-	-	Софосбувир+ Даклатасвир SOF+DCV	06.08.2021	28.10.2021
257	3a	A30S	Средний Medium	Даклатасвир DCV	Софосбувир+ Велпатасвир SOF+VEL	04.08.2021	27.12.2021
261	3a	Y93H	Средний Medium	Даклатасвир DCV	Софосбувир SOF	14.02.2020	06.05.2020
			Высокий High	Пибрентасвир PIB Велпатасвир VEL			
313	3a	A30K	Средний Medium	Омбитасвир OBV Элбасвир EBR	Софосбувир+ Даклатасвир SOF+DCV	08.11.2019	31.01.2020
			Высокий High	Даклатасвир DCV Велпатасвир VEL Пибрентасвир PIB Элбасвир EBR			
331	3a	A30S	Средний Medium	Даклатасвир DCV	Глекапревир+ Пибрентасвир GLE+PIB	22.04.2022	17.06.2022
280	1b	F37L	Средний/низкий Medium/low	Даклатасвир DCV	Софосбувир+ Нарлапревер+ Ритонавир SOF+NRL+RTV	03.09.2021	26.11.2021
305	1b	F37L	Средний/низкий Medium/low	Даклатасвир DCV	Софосбувир SOF	25.10.2021	17.01.2022
458	1b	F37L	Средний/низкий Medium/low	Даклатасвир DCV	Гразопревир+ Элбасвир GZR+EBR	08.02.2023	03.05.2023
226	1b	-	-	-	Софосбувир+ Даклатасвир+ Рибавирин+ Гразопревир+ Элбасвир SOF+DCV+RBV+GZR+EBR	23.07.2021	31.08.2021

Достоверно известно, что F37L является компенсаторной добавочной мутацией, которая усиливает связывание NS5A с 2',5'-олигоденилатсинтетазой, что положительно влияет на репликацию вируса [33].

Для 6-ти пациентов с генотипом 3a ВГС, принимавших ПППД, в двух случаях не было найдено мутаций резистентности вируса. В двух случаях в области NS5A ВГС были найдены мутации A30S (определяет средний уровень устойчивости к

даклатасвиру), в одном случае – A30K (ответственная за высокий уровень устойчивости даклатасвиру, велпатасвиру и средний к пибрентасвиру и элбасвиру) [14; 34–38]. У ВГС одного пациента было зарегистрировано две МЛУ – Y93H (высокий уровень устойчивости вируса к даклатасвиру, пибрентасвиру, велпатасвиру и средний к омбитасвиру и элбасвиру) и A30S (средний и низкий уровень устойчивости вируса к даклатасвиру) [14; 39–43; 54].

Важно отметить, что основная доля обнаруженных мутаций приходилась на ВГС пациентов, не имевших опыта приема ПППД, согласно данным, полученным от врачей. Для 67 пациентов без терапии ПППД преобладал путь заражения ВИЧ при употреблении инъекционных наркотиков 75,7 % (n=53) на втором месте было инфицирование при гетеросексуальном контакте 21,4 % (n=13), для 2,9 % (n=2) путь инфицирования не был установлен.

Среди 41 человека, инфицированного ВГС 1b, мутации резистентности вируса в области NS5A были обнаружены у 75,6 % (n=31) пациентов (табл. 2).

Наиболее часто среди исследованных ВГС выявлялась полиморфная мутация F37L – в 67,5 % (n=27). Дополнительно в одном образце была найдена F/L37I 2,5 % (n=1). F/L37I – спорный полиморфизм ВГС, в большинстве источников говорится о незначительном влиянии данной замены на устойчивость ВГС к даклтасвиру или характеризуют ее как нейтральную [31–33].

На втором месте по встречаемости была полиморфная мутация Q54H, найденная в 22,5 % (n=9), в одном случае был зарегистрирован полиморфизм Q54Y 2,2 % (n=1). Обе замены придают вирусу низкий уровень устойчивости к даклтасвиру [44]. Сочетание мутаций Q54H/Y и F37L, определяющее средний уровень устойчивости ВГС к даклтасвиру, встречалось у 15,6 % (n=7) пациентов [31].

Третьей по распространенности мутацией стала R30Q – описана для 7,5 % (n=3), которую связывают с высоким уровнем устойчивости вируса к даклтасвиру [45], средним – к омбитасвиру [15], также сообщается о возможности развития резистентности вируса в отношении асунапревира [45; 46].

В одном случае (2,5 %) были найдены мутации L31I/V/M. L31I даёт высокий уровень устойчивости к ледипасвиру [10], а также средний к даклтасвиру и элбасвиру [45; 47]; МЛУ L31V, описанная в 5,0 % (n=2), связана с высоким уровнем устойчивости вируса к даклтасвиру, омбитасвиру, ледипасвиру [10; 15; 40] и средним к велпатавиру [41]; L31M – в 5,0 % (n=2), вызывающая высокий уровень устойчивости к даклтасвиру, элбасвиру и средний к омбитасвиру, велпатавиру, ледипасвиру [40; 45; 48]. Сочетание мутаций R30Q и L31M, дающее слабую устойчивость к даклтасвиру, встречалось у 4,4 % (n=2) пациентов [49].

В одном случае (2,5 %) ВГС одновременно имел мутацию Y93H (обуславливает высокий уровень устойчивости вируса к даклтасвиру, пибрентасвиру, ледипасвиру, велпатавиру и омбитасвиру) в сочетании с R30Q и Q54H [10; 15; 40; 43–45; 47; 50; 51].

Также единожды обнаружена мутация P58S (2,5 %), дающая вирусу средний уровень устойчивости к омбитасвиру и даклтасвиру (табл. 2) [15; 52].

Таблица 2. Разнообразие и распространенность выявленных мутаций в области гена NS5A ВГС субтипов 1b и 3a, связанных с развитием резистентности вируса к ПППД у наивных пациентов
Table 2. Diversity and prevalence of mutations identified in the NS5A gene region of HCV subtypes 1b and 3a associated with the development of viral resistance to DAAs in naïve patients

Мутация Mutation	% (n)	Уровень устойчивости Resilience level	ПППД DAAs
Субтип 1b / Subtype 1b			
R30Q	7,3 % (3)	Высокий High	Даклтасвир DCV
		Средний Medium	Омбитасвир OBV
L31I	2,4 % (1)	Высокий High	Ледипасвир LDV
		Средний Medium	Даклтасвир DCV Элбасвир EBR
L31V	4,9 % (2)	Высокий High	Даклтасвир DCV Омбитасвир OBV
		Средний Medium	Ледипасвир LDV Велпатавир VEL
L31M	4,9 % (2)	Высокий High	Даклтасвир DCV Элбасвир EBR
		Средний Medium	Омбитасвир OBV Велпатавир VEL Ледипасвир LDV

F37L	67,5 % (27)	Средний/низкий Medium/low	Даклатасвир DCV
F37I	2,4 % (1)	Средний/низкий Medium/low	Даклатасвир DCV
Q54H	22,5 % (9)	Средний/низкий Medium/low	Даклатасвир DCV
Q54Y	2,4 % (1)	Средний/низкий Medium/low	Даклатасвир DCV
P58S	2,4 % (1)	Средний Medium	Омбитасвир OBV
			Даклатасвир DCV
			Даклатасвир DCV
			PIB
Y93H	2,4 % (1)	Высокий High	Ледипасвир LDV
			Велпатасвир VEL
			Омбитасвир OBV
Субтип 3а / Subtype 3a			
A30S	34,6 % (9)	Средний Medium	Даклатасвир DCV
A30V	3,8 % (1)	Средний/низкий Medium/low	Даклатасвир DCV
S/T62L	3,8 % (1)	Средний/низкий Medium/low	Даклатасвир DCV
			Даклатасвир DCV
			Высокий High
			Пибрентасвир PIB
Y93H	3,8 % (1)	Средний Medium	Велпатасвир VEL
			Омбитасвир OBV
			Элбасвир EBR

Мутации резистентности ВГС в области NS5A для субтипа 3а среди 29 пациентов, не имеющих опыта приема ПППД, были обнаружены в 41,4 % (n=12).

Наибольшую распространенность получили мутации в тридцатом кодоне: A30S – в 37,5 % (n=9) и A30V – в 4,2 % (n=1), которые придают ВГС средний и низкий уровень устойчивости к даклатасвиру [14; 40; 39]. Основная мутация Y93H дважды встречалась в комбинациях с A30V и с A30S (по 4,2%), что обуславливает высокий уровень устойчивости вируса к даклатасвиру, пибрентасвиру, велпатавиру [14; 41; 42; 44; 53; 54] и средний – к омбитасвиру и элбасвиру [42; 43]. В одном случае была обнаружена мутация S/T62L 4,2 % (n=1), дающая ВГС слабую устойчивость к даклатасвиру [14].

Результаты настоящего исследования согласуются с данными ряда авторов, описывающих незначительное распространение МЛУ, существенно снижающих восприимчивость ВГС к ПППД в позициях аминокислот L31 и Y93 у ВГС субтипа 1b, а для субтипа 3а – МЛУ A30K и Y93H среди пациентов без опыта приема ПППД [14; 55], в том числе, для лиц с ко-инфекцией ВИЧ/ВГС из других регионов России [24; 56; 57].

Результаты выполненных исследований ВГС соответствуют общемировым данным как для субтипа 3а, так и для субтипа 1b ВГС [11; 14; 55; 57; 58]. О большой распространенности мутаций ВГС в области NS5A для субтипа 1b (69,4 %) по сравнению с субтипом 3а (30,6 %) сообщалось в работах, посвященных изучению резистентности на основе анализа доступных депонированных в GenBank последовательностей ВГС [59].

Противовирусные препараты прямого действия открыли совершенно новую эру в терапии против ВГС. В России начато внедрение программы лечения ХГС ПППД как у пациентов с ВГС-моноинфекцией, так и у ВИЧ/ВГС-инфицированных лиц. При этом для многих регионов страны отсутствуют данные по распространению первичной резистентности вируса к ПППД, не выполняется анализ наличия мутаций в геноме ВГС, связанных со снижением чувствительности к ПППД в случаях неэффективной терапии. В то же время ПППД доступны для самостоятельного приобретения, что влечет за собой бесконтрольный прием этих препаратов. Поэтому клинически значимая резистентность ВГС к противовирусным препаратам до начала лечения, возможно, будет увеличиваться в случае их широкого использования.

В Красноярском крае до настоящего времени не проводилось молекулярно-генетических исследований ВГС, поэтому полученные данные являются первым описанием особенностей популяции циркулирующих ВГС. Представленная работа проводилась в рамках мероприятий, направленных на снижение распространения ВГС среди ВИЧ-инфицированных жителей Красноярского края. Выполненный анализ разнообразия и встречаемости мутаций лекарственной устойчивости ВГС к препаратам прямого противовирусного действия крайне важен как для выбора индивидуальной терапии и достижения уверенного вирусологического ответа инфицированных ВГС лиц, так и накопления данных для разработки тактики по элиминации ВГС. В этой связи особенную актуальность при разработке долгосрочной стратегии эффективного лечения ХГС приобретает исследование ВГС на наличие МЛУ, в том числе, полиморфных мутаций, до начала назначения терапии препаратами прямого противовирусного действия.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование проведено в рамках реализации распоряжения Правительства Российской Федерации от 02.04.2022 № 735-п.

ACKNOWLEDGMENT

The study was conducted in the framework of the Order of the Government of the Russian Federation dated 02 April 2022 No. 735-p.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Bertino G., et al. Chronic hepatitis C: This and the new era of treatment // *World journal of hepatology*. 2016. V. 8. N 2. P. 92. DOI: 10.4254/wjh.v8.i2.92
- Dubuisson J. Hepatitis C virus proteins // *World journal of gastroenterology: WJG*. 2007. V. 13. N 17. P. 2406. DOI: 10.3748/wjg.v13.i17.2406
- Schulze zur Wiesch J., et al. The proteins of the Hepatitis C virus: Their features and interactions with intracellular protein phosphorylation // *Archives of virology*. 2003. V. 148. P. 1247–1267. DOI: 10.1007/s00705-003-0115-8
- Simmonds P. Genetic diversity and evolution of hepatitis C virus—15 years on // *Journal of General Virology*. 2004. V. 85. N 11. P. 3173–3188. DOI: 10.1099/vir.0.80401-0
- Correction Naghavi M., et al. Global, regional, and national age-sex specific all-cause and cause-specific mortality for 240 causes of death, 1990–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013 // *The Lancet*. 2015. V. 38. N 9963. P. 117–171. DOI: 10.1016/S0140-6736(14)61682-2
- Thursz M., Fontanet A. HCV transmission in industrialized countries and resource-constrained areas // *Nature reviews Gastroenterology & hepatology*. 2014. V. 11. N 1. P. 28–35. DOI: 10.1038/nrgastro.2013.179
- Pawlotsky J.M., Chevaliez S., McHutchison J.G. The hepatitis C virus life cycle as a target for new antiviral therapies // *Gastroenterology*. 2007. V. 132. N 5. P. 1979–1998. DOI: 10.1053/j.gastro.2007.03.116
- Hassany M., Elsharkawy A. HCV treatment failure in the Era of DAAs // *INTECH open science*. 2017. P. 117–129. DOI: 10.5772/67149
- Svarovskaia E.S., et al. Infrequent development of resistance in genotype 1–6 hepatitis C virus-infected subjects treated with sofosbuvir in phase 2 and 3 clinical trials // *Clinical Infectious Diseases*. 2014. V. 59. N 12. P. 1666–1674. DOI: 10.1093/cid/ciu697
- Wyles D., et al. Post-treatment resistance analysis of hepatitis C virus from phase II and III clinical trials of ledipasvir/sofosbuvir // *Journal of hepatology*. 2017. V. 66. N 4. P. 703–710. DOI: 10.1016/j.jhep.2016.11.022
- Wyles D.L., Luetkemeyer A.F. Understanding hepatitis C virus drug resistance: clinical implications for current and future regimens // *Topics in antiviral medicine*. 2017. V. 25. N 3. P. 103. PMID: 28820725
- Pawlotsky J.M. NS5A inhibitors in the treatment of hepatitis C // *Journal of hepatology*. 2013. V. 59. N 2. P. 375–382. DOI: 10.1016/j.jhep.2013.03.030
- Jimmerson L.C. The clinical pharmacology of ribavirin: intracellular effects on endogenous nucleotides and hemolytic anemia: diss. University of Colorado Denver, Anschutz Medical Campus. 2016.
- Hernandez D., et al. Natural prevalence of NS5A polymorphisms in subjects infected with hepatitis C virus genotype 3 and their effects on the antiviral activity of NS5A inhibitors // *Journal of Clinical Virology*. 2013. V. 57. N 1. P. 13–18. DOI: 10.1016/j.jcv.2012.12.020
- Krishnan P., et al. Analysis of hepatitis C virus genotype 1b resistance variants in Japanese patients treated with paritaprevir-ritonavir and ombitasvir // *Antimicrobial agents and chemotherapy*. 2016. V. 60. N 2. P. 1106–1113. DOI: 10.1128/aac.02606-15
- Trickey A., et al. Guidelines for the care and treatment of persons diagnosed with chronic hepatitis C virus infection: web annex 4: modelling analyses // *World Health Organization*. 2018. N. WHO/CDS/HIV/18.38.
- Tamura K., Stecher G., Kumar S. MEGA11: molecular evolutionary genetics analysis version 11 // *Molecular biology and evolution*. 2021. V. 38. N 7. P. 3022–3027. DOI: 10.1093/molbev/msab120
- Larsson A. AliView: a fast and lightweight alignment viewer and editor for large datasets // *Bioinformatics*. 2014. V. 30. N 22. P. 3276–3278. DOI: 10.1093/bioinformatics/btu531
- Katoh K., Rozewicki J., Yamada K.D. MAFFT online service: multiple sequence alignment, interactive sequence choice and visualization // *Briefings in bioinformatics*. 2019. V. 20. N 4. P. 1160–1166. DOI: 10.1093/bib/bbx108
- von Haeseler A., et al. IQ-TREE: A fast and effective stochastic algorithm for estimating maximum-likelihood phylogenies // *Molecular Biology and Evolution*. 2014. V. 32. Iss. 1. P. 268–274. DOI: 10.1093/molbev/msu300
- Singer J.B., et al. GLUE: a flexible software system for virus sequence data // *BMC bioinformatics*. 2018. V. 19. P. 1–18. DOI: 10.1186/s12859-018-2459-9
- Singer J.B., et al. Interpreting viral deep sequencing data with GLUE // *Viruses*. 2019. V. 11. N 4. P. 323. DOI: 10.3390/v11040323
- Кашникова А.Д. и др. Молекулярно-генетический мониторинг как компонент эпидемиологического надзора за гепатитом С // *Здоровье населения и среда обитания*. 2022. Т. 30. N 11. С. 76–81. DOI: 10.35627/2219-5238/2022-30-11-76-81
- Кочнева Г.В. и др. О возможности искоренения гепатита С в России // *Молекулярная генетика, микробиология и вирусология*. 2021. Т. 39. N 1. С. 31–41. DOI: 10.17116/molgen20213901131
- Базыкина Е.А. и др. Оценка эпидемиологических особенностей ВИЧ-инфекции и генотипического разнообразия вируса гепатита С у ВИЧ-инфицированных граждан в субъектах Дальневосточного федерального

- округа // Эпидемиология и вакцинопрофилактика. 2021. Т. 20. N 5. С. 79–88. DOI: 10.31631/2073-3046-2021-20-5-79-88
26. Котова В.О. и др. Генетическое разнообразие вируса гепатита С среди населения Нанайского района Хабаровского края // Инфекция и иммунитет. 2021. Т. 11. N 1. С. 148–156. DOI: 10.15789/2220-7619-GDO-1265
27. Pawlowsky J.M., et al. EASL recommendations on treatment of hepatitis C 2018 // *Journal of hepatology*. 2018. V. 69. N 2. P. 461–511. DOI: 10.1016/j.jhep.2018.03.026
28. Lahser F., et al. Interim analysis of a 3-year follow-up study of NS5A and NS3 resistance-associated substitutions after treatment with grazoprevir-containing regimens in participants with chronic HCV infection // *Antiviral therapy*. 2018. V. 23. N 7. P. 593–603. DOI: 10.3851/IMP3253
29. Krishnan P., et al. O057: Long-term follow-up of treatment-emergent resistance-associated variants in NS3, NS5A and NS5B with paritaprevir/r-, ombitasvir- and dasabuvir-based regimens // *Journal of hepatology*. 2015. V. 62. P. S220. DOI: 10.1016/S0168-8278(15)30071-4
30. Wyles D., et al. Long-term persistence of HCV NS5A resistance-associated substitutions after treatment with the HCV NS5A inhibitor, ledipasvir, without sofosbuvir // *Antiviral therapy*. 2018. V. 23. N 3. P. 229–238. DOI: 10.3851/IMP3181
31. Mawatari S., et al. New resistance-associated substitutions and failure of dual oral therapy with daclatasvir and asunaprevir // *Journal of gastroenterology*. 2017. V. 52. P. 855–867. DOI: 10.1007/s00535-016-1303-0
32. Lopez Luis B.A., et al. Baseline hepatitis C virus NS5A resistance-associated polymorphisms in patients with and without human immunodeficiency virus coinfection in Mexico // *Microbial Drug Resistance*. 2021. V. 27. N 9. P. 1195–1202. DOI: 10.1089/mdr.2020.0436
33. Seronello S., et al. Ethanol and reactive species increase basal sequence heterogeneity of hepatitis C virus and produce variants with reduced susceptibility to antivirals // *PLoS One*. 2011. V. 6. N 11. Article id: e27436. DOI: 10.1371/journal.pone.0027436
34. Wyles D.L., et al. Daclatasvir plus sofosbuvir for HCV in patients coinfecting with HIV-1 // *New England Journal of Medicine*. 2015. V. 373. N 8. P. 714–725. DOI: 10.1056/NEJMoa1503153
35. Nelson D.R., et al. All-oral 12-week treatment with daclatasvir plus sofosbuvir in patients with hepatitis C virus genotype 3 infection: ALLY-3 phase III study // *Hepatology*. 2015. V. 61. N 4. P. 1127–1135. DOI: 10.1002/hep.27726
36. Liu R., et al. Susceptibilities of genotype 1a, 1b, and 3 hepatitis C virus variants to the NS5A inhibitor elbasvir // *Antimicrobial agents and chemotherapy*. 2015. V. 59. N 11. P. 6922–6929. DOI: 10.1128/aac.01390-15
37. Poordad F., et al. High antiviral activity of NS 5A inhibitor ABT-530 with paritaprevir/ritonavir and ribavirin against hepatitis C virus genotype 3 infection // *Liver International*. 2016. V. 36. N 8. P. 1125–1132. DOI: 10.1111/liv.13067
38. Hezode C., et al. Resistance analysis in patients with genotype 1–6 HCV infection treated with sofosbuvir/velpatasvir in the phase III studies // *Journal of hepatology*. 2018. V. 68. N 5. P. 895–903. DOI: 10.1016/j.jhep.2017.11.032
39. Cabral B.C.A., et al. Frequency distribution of HCV resistance-associated variants in infected patients treated with direct-acting antivirals // *International Journal of Infectious Diseases*. 2022. V. 115. P. 171–177. DOI: 10.1016/j.ijid.2021.12.320
40. Zeuzem S., et al. Daclatasvir plus simeprevir with or without ribavirin for the treatment of chronic hepatitis C virus genotype 1 infection // *Journal of hepatology*. 2016. V. 64. N 2. P. 292–300. DOI: 10.1016/j.jhep.2015.09.024
41. Curry M.P., et al. Sofosbuvir and velpatasvir for HCV in patients with decompensated cirrhosis // *New England Journal of Medicine*. 2015. V. 373. N 27. P. 2618–2628. DOI: 10.1056/NEJMoa1512614
42. Gottwein J.M., et al. Efficacy of NS5A inhibitors against hepatitis C virus genotypes 1–7 and escape variants // *Gastroenterology*. 2018. V. 154. N 5. P. 1435–1448. DOI: 10.1053/j.gastro.2017.12.015
43. Krishnan P., et al. In vitro and in vivo antiviral activity and resistance profile of ombitasvir, an inhibitor of hepatitis C virus NS5A // *Antimicrobial agents and chemotherapy*. 2015. V. 59. N 2. P. 979–987. DOI: 10.1128/aac.04226-14
44. Nakamoto S., et al. Hepatitis C virus NS5A inhibitors and drug resistance mutations // *World journal of gastroenterology: WJG*. 2014. V. 20. N 11. P. 2902. DOI: 10.3748/wjg.v20.i11.2902
45. Uchida Y., et al. Development of rare resistance-associated variants that are extremely tolerant against NS5A inhibitors during daclatasvir/asunaprevir therapy by a two-hit mechanism // *Hepatology Research*. 2016. V. 46. N 12. P. 1234–1246. DOI: 10.1111/hepr.12673
46. Uchida Y., et al. “Reversi-type virologic failure” involved in the development of non-structural protein 5A resistance-associated variants (RAVs) in patients with genotype 1b hepatitis C carrying no signature RAVs at baseline // *Hepatology Research*. 2017. V. 47. N 13. P. 1397–1407. DOI: 10.1111/hepr.12882
47. Kwo P., et al. Effectiveness of elbasvir and grazoprevir combination, with or without ribavirin, for treatment-experienced patients with chronic hepatitis C infection // *Gastroenterology*. 2017. V. 152. N 1. P. 164–175. DOI: 10.1053/j.gastro.2016.09.045
48. Fourati S., et al. Viral kinetics analysis and virological characterization of treatment failures in patients with chronic hepatitis C treated with sofosbuvir and an NS 5A inhibitor // *Alimentary pharmacology & therapeutics*. 2018. V. 47. N 5. P. 665–673. DOI: 10.1111/apt.14478
49. Pelosi L.A., et al. Effect on hepatitis C virus replication of combinations of direct-acting antivirals, including NS5A inhibitor daclatasvir // *Antimicrobial agents and chemotherapy*. 2012. V. 56. N 10. P. 5230–5239. DOI: 10.1128/aac.01209-12
50. Kumada H., et al. The combination of elbasvir and grazoprevir for the treatment of chronic HCV infection in Japanese patients: a randomized phase II/III study // *Journal of gastroenterology*. 2017. V. 52. P. 520–533. DOI: 10.1007/s00535-016-1285-y
51. Kozuka R., et al. The presence of multiple NS 5A RAS s is associated with the outcome of sofosbuvir and ledipasvir therapy in NS 5A inhibitor-naïve patients with chronic HCV genotype 1b infection in a real-world cohort // *Journal of Viral Hepatitis*. 2018. V. 25. N 5. P. 535–542. DOI: 10.1111/jvh.12850
52. Kao J.H., et al. All-oral daclatasvir plus asunaprevir for chronic hepatitis C virus (HCV) genotype 1b infection: a sub-analysis in Asian patients from the HALLMARK DUAL study // *Liver International*. 2016. V. 36. N 10. P. 1433–1441. DOI: 10.1111/liv.13128

53. Dietz J., et al. Consideration of viral resistance for optimization of direct antiviral therapy of hepatitis C virus genotype 1-infected patients // *PloS one*. 2015. V. 10. N 8. Article id: e0134395. DOI: 10.1371/journal.pone.0134395
54. Kwo P.Y., et al. Glecaprevir and pibrentasvir yield high response rates in patients with HCV genotype 1–6 without cirrhosis // *Journal of hepatology*. 2017. V. 67. N 2. P. 263–271. DOI: 10.1016/j.jhep.2017.03.039
55. Zeuzem S., et al. NS5A resistance-associated substitutions in patients with genotype 1 hepatitis C virus: prevalence and effect on treatment outcome // *Journal of hepatology*. 2017. V. 66. N 5. P. 910–918. DOI: 10.1016/j.jhep.2017.01.007
56. Рейнгардт Д.Э. и др. Распространенность мутаций лекарственной устойчивости вируса гепатита С среди пациентов с рецидивом заболевания на терапии препаратами прямого противовирусного действия // ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии. 2024. Т. 15. N 4. С. 86–93. DOI: 10.22328/2077-9828-2023-15-4-86-93
57. Кичатова В.С. и др. Лекарственно-резистентные варианты ВГС субтипа 1b, циркулирующие на территории Российской Федерации: анализ аминокислотных мутаций в белках NS5a и core // *Журнал инфектологии*. 2018. Т. 10. N 4. С. 30–36. DOI: 10.22625/2072-6732-2018-10-4-30-36
58. Bartels D.J., et al. Hepatitis C virus variants with decreased sensitivity to direct-acting antivirals (DAAs) were rarely observed in DAA-naive patients prior to treatment // *Journal of virology*. 2013. V. 87. N 3. P. 1544–1553. DOI: 10.1128/jvi.02294-12
59. Chen Z., et al. Global prevalence of pre-existing HCV variants resistant to direct-acting antiviral agents (DAAs): mining the GenBank HCV genome data // *Scientific reports*. 2016. V. 6. N 1. Article id: 20310. DOI: 10.1038/srep20310
9. Svarovskaia E.S., et al. Infrequent development of resistance in genotype 1–6 hepatitis C virus–infected subjects treated with sofosbuvir in phase 2 and 3 clinical trials. *Clinical Infectious Diseases*, 2014, vol. 59, no. 12, pp. 1666–1674. DOI: 10.1093/cid/ciu697
10. Wyles D., et al. Post-treatment resistance analysis of hepatitis C virus from phase II and III clinical trials of ledipasvir/sofosbuvir. *Journal of hepatology*, 2017, vol. 66, no. 4, pp. 703–710. DOI: 10.1016/j.jhep.2016.11.022
11. Wyles D.L., Luetkemeyer A.F. Understanding hepatitis C virus drug resistance: clinical implications for current and future regimens. *Topics in antiviral medicine*. 2017, vol. 25, no. 3, p. 103. PMID: 28820725
12. Pawlotsky J.M. NS5A inhibitors in the treatment of hepatitis C. *Journal of hepatology*, 2013, vol. 59, no. 2, pp. 375–382. DOI: 10.1016/j.jhep.2013.03.030
13. Jimmerson L. C. The clinical pharmacology of ribavirin: intracellular effects on endogenous nucleotides and hemolytic anemia: diss. University of Colorado Denver, Anschutz Medical Campus, 2016.
14. Hernandez D., et al. Natural prevalence of NS5A polymorphisms in subjects infected with hepatitis C virus genotype 3 and their effects on the antiviral activity of NS5A inhibitors. *Journal of Clinical Virology*, 2013, vol. 57, no. 1, pp. 13–18. DOI: 10.1016/j.jcv.2012.12.020
15. Krishnan P., et al. Analysis of hepatitis C virus genotype 1b resistance variants in Japanese patients treated with paritaprevir-ritonavir and ombitasvir. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 2016, vol. 60, no. 2, pp. 1106–1113. DOI: 10.1128/aac.02606-15
16. Trickey A., et al. Guidelines for the care and treatment of persons diagnosed with chronic hepatitis C virus infection: web annex 4: modelling analyses. World Health Organization. 2018, no. WHO/CDS/HIV/18.38.
17. Tamura K., Stecher G., Kumar S. MEGA11: molecular evolutionary genetics analysis version 11. *Molecular biology and evolution*, 2021, vol. 38, no. 7, pp. 3022–3027. DOI: 10.1093/molbev/msab120
18. Larsson A. AliView: a fast and lightweight alignment viewer and editor for large datasets. *Bioinformatics*, 2014, vol. 30, no. 22, pp. 3276–3278. DOI: 10.1093/bioinformatics/btu531
19. Katoh K., Rozewicki J., Yamada K.D. MAFFT online service: multiple sequence alignment, interactive sequence choice and visualization. *Briefings in bioinformatics*, 2019, vol. 20, no. 4, pp. 1160–1166. DOI: 10.1093/bib/bbx108
20. von Haeseler A., et al. IQ-TREE: A fast and effective stochastic algorithm for estimating maximum-likelihood phylogenies. *Molecular Biology and Evolution*, 2014, vol. 32, iss. 1, pp. 268–274. DOI: 10.1093/molbev/msu300
21. Singer J.B., et al. GLUE: a flexible software system for virus sequence data. *BMC bioinformatics*, 2018, vol. 19, pp. 1–18. DOI: 10.1186/s12859-018-2459-9
22. Singer J.B., et al. Interpreting viral deep sequencing data with GLUE. *Viruses*, 2019, vol. 11, no. 4, p. 323. DOI: 10.3390/v11040323
23. Kashnikova A.D., et al. Genetic monitoring as a component of hepatitis C surveillance. *The Russian journal Public Health and Life Environment*, 2022, vol. 30, no. 11, pp. 76–81. (In Russian) DOI: 10.35627/2219-5238/2022-30-11-76-81
24. Kochneva G.V., et al. On the possibility of eradicating hepatitis C in Russia. *Molecular Genetics, Microbiology and Virology*, 2021, vol. 39, no. 1, pp. 31–41. (In Russian) DOI: 10.17116/molgen20213901131

REFERENCES

1. Bertino G., et al. Chronic hepatitis C: This and the new era of treatment. *World journal of hepatology*, 2016, vol. 8, no. 2, p. 92. DOI: 10.4254/wjh.v8.i2.92
2. Dubuisson J. Hepatitis C virus proteins. *World journal of gastroenterology: WJG*, 2007, vol. 13, no. 17, p. 2406. DOI: 10.3748/wjg.v13.i17.2406
3. Schulze zur Wiesch J., et al. The proteins of the Hepatitis C virus: Their features and interactions with intracellular protein phosphorylation. *Archives of virology*, 2003, vol. 148, pp. 1247–1267. DOI: 10.1007/s00705-003-0115-8
4. Simmonds P. Genetic diversity and evolution of hepatitis C virus–15 years on. *Journal of General Virology*, 2004, vol. 85, no. 11, pp. 3173–3188. DOI: 10.1099/vir.0.80401-0
5. Correction Naghavi M. et al. Global, regional, and national age–sex specific all-cause and cause-specific mortality for 240 causes of death, 1990–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *The Lancet*, 2015, vol. 385, no. 9963, pp. 117–171. DOI: 10.1016/S0140-6736(14)61682-2
6. Thursz M., Fontanet A. HCV transmission in industrialized countries and resource-constrained areas. *Nature reviews Gastroenterology & hepatology*, 2014, vol. 11, no. 1, pp. 28–35. DOI: 10.1038/nrgastro.2013.179
7. Pawlotsky J.M., Chevaliez S., McHutchison J.G. The hepatitis C virus life cycle as a target for new antiviral therapies. *Gastroenterology*, 2007, vol. 132, no. 5, pp. 1979–1998. DOI: 10.1053/j.gastro.2007.03.116
8. Hassany M., Elsharkawy A. HCV treatment failure in the Era of DAAs. *INTECH open science*, 2017, pp. 117–129. DOI: 10.5772/67149

25. Bazykina E.A., et al. Distribution of Hepatitis C Virus among People Living with HIV in Constituent Entities of the Far Eastern Federal District. *Epidemiology and Vaccinal Prevention*, 2021, vol. 20, no. 5, pp. 79–88. (In Russian) DOI: 10.31631/2073-3046-2021-20-5-79-88
26. Kotova V.O., et al. Genetic diversity of hepatitis C virus in Nanaian region, Khabarovsk territory. *Russian Journal of Infection and Immunity*, 2021, vol. 11, no. 1, pp. 148–156. (In Russian) DOI: 10.15789/2220-7619-GDO-1265
27. Pawlotsky J.M., et al. EASL recommendations on treatment of hepatitis C 2018. *Journal of hepatology*, 2018, vol. 69, no. 2, pp. 461–511. DOI: 10.1016/j.jhep.2018.03.026
28. Lahser F., et al. Interim analysis of a 3-year follow-up study of NS5A and NS3 resistance-associated substitutions after treatment with grazoprevir-containing regimens in participants with chronic HCV infection. *Antiviral therapy*, 2018, vol. 23, no. 7, pp. 593–603. DOI: 10.3851/IMP3253
29. Krishnan P., et al. O057: Long-term follow-up of treatment-emergent resistance-associated variants in NS3, NS5A and NS5B with paritaprevir/r-, ombitasvir- and dasabuvir-based regimens. *Journal of hepatology*, 2015, vol. 62, p. S220. DOI: 10.1016/S0168-8278(15)30071-4
30. Wyles D., et al. Long-term persistence of HCV NS5A resistance-associated substitutions after treatment with the HCV NS5A inhibitor, ledipasvir, without sofosbuvir. *Antiviral therapy*, 2018, vol. 23, no. 3, pp. 229–238. DOI: 10.3851/IMP3181
31. Mawatari S., et al. New resistance-associated substitutions and failure of dual oral therapy with daclatasvir and asunaprevir. *Journal of gastroenterology*, 2017, vol. 52, pp. 855–867. DOI: 10.1007/s00535-016-1303-0
32. Lopez Luis B.A., et al. Baseline hepatitis C virus NS5A resistance-associated polymorphisms in patients with and without human immunodeficiency virus coinfection in Mexico. *Microbial Drug Resistance*, 2021, vol. 27, no. 9, pp. 1195–1202. DOI: 10.1089/mdr.2020.0436
33. Seronello S., et al. Ethanol and reactive species increase basal sequence heterogeneity of hepatitis C virus and produce variants with reduced susceptibility to antivirals. *PLoS One*, 2011, vol. 6, no. 11, article id: e27436. DOI: 10.1371/journal.pone.0027436
34. Wyles D.L., et al. Daclatasvir plus sofosbuvir for HCV in patients coinfecting with HIV-1. *New England Journal of Medicine*, 2015, vol. 373, no. 8, pp. 714–725. DOI: 10.1056/NEJMoa1503153
35. Nelson D.R., et al. All-oral 12-week treatment with daclatasvir plus sofosbuvir in patients with hepatitis C virus genotype 3 infection: ALLY-3 phase III study. *Hepatology*, 2015, vol. 61, no. 4, pp. 1127–1135. DOI: 10.1002/hep.27726
36. Liu R., et al. Susceptibilities of genotype 1a, 1b, and 3 hepatitis C virus variants to the NS5A inhibitor elbasvir. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 2015, vol. 59, no. 11, pp. 6922–6929. DOI: 10.1128/aac.01390-15
37. Poordad F., et al. High antiviral activity of NS 5A inhibitor ABT-530 with paritaprevir/ritonavir and ribavirin against hepatitis C virus genotype 3 infection. *Liver International*, 2016, vol. 36, no. 8, pp. 1125–1132. DOI: 10.1111/liv.13067
38. Hezode C., et al. Resistance analysis in patients with genotype 1–6 HCV infection treated with sofosbuvir/velpatasvir in the phase III studies. *Journal of hepatology*, 2018, vol. 68, no. 5, pp. 895–903. DOI: 10.1016/j.jhep.2017.11.032
39. Cabral B.C.A., et al. Frequency distribution of HCV resistance-associated variants in infected patients treated with direct-acting antivirals. *International Journal of Infectious Diseases*, 2022, vol. 115, pp. 171–177. DOI: 10.1016/j.ijid.2021.12.320
40. Zeuzem S., et al. Daclatasvir plus simeprevir with or without ribavirin for the treatment of chronic hepatitis C virus genotype 1 infection. *Journal of hepatology*, 2016, vol. 64, no. 2, pp. 292–300. DOI: 10.1016/j.jhep.2015.09.024
41. Curry M.P., et al. Sofosbuvir and velpatasvir for HCV in patients with decompensated cirrhosis. *New England Journal of Medicine*, 2015, vol. 373, no. 27, pp. 2618–2628. DOI: 10.1056/NEJMoa1512614
42. Gottwein J.M., et al. Efficacy of NS5A inhibitors against hepatitis C virus genotypes 1–7 and escape variants. *Gastroenterology*, 2018, vol. 154, no. 5, pp. 1435–1448. DOI: 10.1053/j.gastro.2017.12.015
43. Krishnan P., et al. In vitro and in vivo antiviral activity and resistance profile of ombitasvir, an inhibitor of hepatitis C virus NS5A. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 2015, vol. 59, no. 2, pp. 979–987. DOI: 10.1128/aac.04226-14
44. Nakamoto S., et al. Hepatitis C virus NS5A inhibitors and drug resistance mutations. *World journal of gastroenterology: WJG*, 2014, vol. 20, no. 11, p. 2902. DOI: 10.3748/wjg.v20.i11.2902
45. Uchida Y., et al. Development of rare resistance-associated variants that are extremely tolerant against NS5A inhibitors during daclatasvir/asunaprevir therapy by a two-hit mechanism. *Hepatology Research*, 2016, vol. 46, no. 12, pp. 1234–1246. DOI: 10.1111/hepr.12673
46. Uchida Y., et al. “Reversi-type virologic failure” involved in the development of non-structural protein 5A resistance-associated variants (RAVs) in patients with genotype 1b hepatitis C carrying no signature RAVs at baseline. *Hepatology Research*, 2017, vol. 47, no. 13, pp. 1397–1407. DOI: 10.1111/hepr.12882
47. Kwo P., et al. Effectiveness of elbasvir and grazoprevir combination, with or without ribavirin, for treatment-experienced patients with chronic hepatitis C infection. *Gastroenterology*, 2017, vol. 152, no. 1, pp. 164–175. DOI: 10.1053/j.gastro.2016.09.045
48. Fourati S., et al. Viral kinetics analysis and virological characterization of treatment failures in patients with chronic hepatitis C treated with sofosbuvir and an NS 5A inhibitor. *Alimentary pharmacology & therapeutics*, 2018, vol. 47, no. 5, pp. 665–673. DOI: 10.1111/apt.14478
49. Pelosi L.A., et al. Effect on hepatitis C virus replication of combinations of direct-acting antivirals, including NS5A inhibitor daclatasvir. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 2012, vol. 56, no. 10, pp. 5230–5239. DOI: 10.1128/aac.01209-12
50. Kumada H., et al. The combination of elbasvir and grazoprevir for the treatment of chronic HCV infection in Japanese patients: a randomized phase II/III study. *Journal of gastroenterology*, 2017, vol. 52, pp. 520–533. DOI: 10.1007/s00535-016-1285-y
51. Kozuka R., et al. The presence of multiple NS 5A RAS s is associated with the outcome of sofosbuvir and ledipasvir therapy in NS 5A inhibitor-naïve patients with chronic HCV genotype 1b infection in a real-world cohort. *Journal of Viral Hepatitis*, 2018, vol. 25, no. 5, pp. 535–542. DOI: 10.1111/jvh.12850

52. Kao J.H., et al. All-oral daclatasvir plus asunaprevir for chronic hepatitis C virus (HCV) genotype 1b infection: a sub-analysis in Asian patients from the HALLMARK DUAL study. *Liver International*, 2016, vol. 36, no. 10, pp. 1433–1441. DOI: 10.1111/liv.13128
53. Dietz J., et al. Consideration of viral resistance for optimization of direct antiviral therapy of hepatitis C virus genotype 1-infected patients. *PLoS one*, 2015, vol. 10, no. 8, article id: e0134395. DOI: 10.1371/journal.pone.0134395
54. Kwo P.Y., et al. Glecaprevir and pibrentasvir yield high response rates in patients with HCV genotype 1–6 without cirrhosis. *Journal of hepatology*, 2017, vol. 67, no. 2, pp. 263–271. DOI: 10.1016/j.jhep.2017.03.039
55. Zeuzem S., et al. NS5A resistance-associated substitutions in patients with genotype 1 hepatitis C virus: prevalence and effect on treatment outcome. *Journal of hepatology*, 2017, vol. 66, no. 5, pp. 910–918. DOI: 10.1016/j.jhep.2017.01.007
56. Reingardt D.E., et al. Distribution of hepatitis C virus drug resistance mutations among patients with recurrence of the disease during therapy with direct antiviral drugs. *HIV Infection and Immunosuppressive*, 2024, vol. 15, no. 4, pp. 86–93. (In Russian) DOI: 10.22328/2077-9828-2023-15-4-86-93
57. Kichatova V.S., et al. Drug resistant variants of hepatitis C virus genotype 1b in Russia: analysis of aminoacid substitutions in NS5a and core proteins. *Journal Infectology*, 2018, vol. 10, no. 4, pp. 30–36. (In Russian) DOI: 10.22625/2072-6732-2018-10-4-30-36
58. Bartels D.J., et al. Hepatitis C virus variants with decreased sensitivity to direct-acting antivirals (DAAs) were rarely observed in DAA-naïve patients prior to treatment. *Journal of virology*, 2013, vol. 87, no. 3, pp. 1544–1553. DOI: 10.1128/jvi.02294-12
59. Chen Z., et al. Global prevalence of pre-existing HCV variants resistant to direct-acting antiviral agents (DAAs): mining the GenBank HCV genome data. *Scientific reports*, 2016, vol. 6, no. 1, article id: 20310. DOI: 10.1038/srep20310

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Василий Е. Екушов и Наталья М. Гашникова составили концепцию исследования. Сергей Е. Скударнов, Виталла-Виктория В. Миниханова и Татьяна С. Остапова собрали эпидемиологические данные и оказали помощь в сборе образцов. Василий Е. Екушов, Алексей В. Тотменин, Максим Р. Халиков и Людмила Г. Готфрид выполнили генотипирование ВГС, провели анализ эпидемиологических данных, выполнили филогенетический анализ. Василий Е. Екушов и Наталья М. Гашникова провели анализ мутаций резистентности ВГС. Наталья М. Гашникова руководила проектом. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Vasily E. Ekushov and Natalya M. Gashnikova composed the research concept. Sergey E. Skudarnov, Vitalla-Victoria V. Minikhanova and Tatyana S. Ostapova collected epidemiological data and assisted with sample collection. Vasily E. Ekushov, Alexei V. Totmenin, Maksim R. Halikov and Ludmila G. Gotfrid performed HIV genotyping, analysed epidemiological data and performed phylogenetic analysis. Vasily E. Ekushov and Natalya M. Gashnikova analysed HCV resistance mutations. Natalya M. Gashnikova supervised the project and prepared the article. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Василий Е. Екушов / Vasily E. Ekushov <https://orcid.org/0000-0002-0465-1260>
Алексей В. Тотменин / Alexei V. Totmenin <https://orcid.org/0000-0002-7418-4872>
Людмила Г. Готфрид / Ludmila G. Gotfrid <https://orcid.org/0000-0001-5896-8231>
Максим Р. Халиков / Maksim R. Halikov <https://orcid.org/0009-0007-1765-1909>
Виталла-Виктория В. Миниханова / Vitalla-Victoria V. Minikhanova <https://orcid.org/0009-0008-7258-3619>
Сергей Е. Скударнов / Sergey E. Skudarnov <https://orcid.org/0009-0001-3265-1778>
Татьяна С. Остапова / Tatyana S. Ostapova <https://orcid.org/0009-0007-4193-6680>
Наталья М. Гашникова / Natalya M. Gashnikova <https://orcid.org/0000-0002-0891-0880>

Оригинальная статья / Original article

УДК 599.4

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-5



Особенности экологии *Rhinolophus mehelyi* (Chiroptera: Rhinolophidae) в период гибернации на северо-востоке Кавказа

Александр В. Жигалин^{1,2}, Алимурад А. Гаджиев², Батыргиши А. Муташев², Александр Ю. Алексеев^{2,3}

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

²Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

³НИИ вирусологии, Федеральный исследовательский центр Фундаментальной и трансляционной медицины, Новосибирск, Россия

Контактное лицо

Александр В. Жигалин, кандидат биологических наук; заведующий лабораторией, лаборатория мониторинга биоразнообразия, Национальный исследовательский Томский государственный университет; 634050 Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36; доцент, кафедра экологии, Институт экологии и устойчивого развития, Дагестанский государственный университет; 367001 Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21. Тел. +79832391744

Email alex-zhigalin@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4661-0560>

Формат цитирования

Жигалин А.В., Гаджиев А.А., Муташев Б.А., Алексеев А.Ю. Особенности экологии *Rhinolophus mehelyi* (Chiroptera: Rhinolophidae) в период гибернации на северо-востоке Кавказа // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 1. С. 60-66. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-5

Получена 18 декабря 2023 г.

Прошла рецензирование 11 января 2024 г.

Принята 15 января 2024 г.

Резюме

Цель – выявить особенности экологии подковоноса Мегеля в период гибернации на северо-восточной периферии ареала (Северный Кавказ, Республика Дагестан).

Исследования выполнялись в пещере Карабудахкентская (Республика Дагестан) в 2019–2023 гг. Обследование пещеры и учет животных проводился 1–2 раза в месяц. Микроклиматические показатели снимались автоматическими логгерами.

В ходе исследований установлено, что местом гибернации *R. mehelyi* на северо-востоке ареала является пещера Карабудахкентская. Минимальная, максимальная и средняя температуры в пещере в период зимовки *R. mehelyi* равны: 6,9 °С, 15,6 °С, 12,4 °С. соответственно. Минимальная влажность составляла 89,1 %, максимальная – 98,2 %, средняя влажность – 92,7 %. Установлено, что температура внутри убежища оказывает влияние на количество особей в обозримой части пещеры и формирование отдельных группировок. Помимо этого, наблюдается рост численности в апреле перед началом миграции.

Было установлено, что влажность не влияет на перемещения вида внутри пещеры, но температура является фактором, обуславливающим передвижение животных и их скученность. Таким образом, для точного учета численности вида, что важно для проведения природоохранных мероприятий, необходимо учитывать оба показателя: температуру и время проведения исследований.

Ключевые слова

Подковонос Мегеля, экология, гибернация, Кавказ.

Features of the ecology of *Rhinolophus mehelyi* (Chiroptera: Rhinolophidae) during hibernation in the north-east of the Caucasus

Alexander V. Zhigalin^{1,2}, Alimurad A. Gadzhiev², Batyrgishi A. Mutashev² and Alexander Yu. Alekseev^{2,3}

¹National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

²Dagestan State University, Makhachkala, Russia

³Research Institute of Virology, Federal Research Center for Fundamental and Translational Medicine, Novosibirsk, Russia

Principal contact

Alexander V. Zhigalin, Candidate of Biological Sciences, Head, Biodiversity Monitoring Laboratory, National Research Tomsk State University; 36 Lenin Ave., Tomsk, Russia 634050 & Associate Professor, Department of Ecology, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University; 21 Dakhadaeva St, Makhachkala, Russia 367001.

Tel. +79832391744

Email alex-zhigalin@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4661-0560>

How to cite this article

Zhigalin A.V., Gadzhiev A.A., Mutashev B.A., Alekseev A.Yu. Features of the ecology of *Rhinolophus mehelyi* (Chiroptera: Rhinolophidae) during hibernation in the north-east of the Caucasus. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(1):60-66. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-5

Received 18 December 2023

Revised 11 January 2024

Accepted 15 January 2024

Abstract

To identify the ecological features of the Megel Horseshoe Bat during its hibernation period in the northeastern periphery of its range (North Caucasus, Republic of Dagestan).

The research was carried out in the Karabudakhkentskaya Cave (Republic of Dagestan) in 2019–2023. The cave was surveyed and the animals were counted 1–2 times a month. Microclimatic indicators were recorded by automatic loggers.

During the research, it was found that the place of hibernation of *R. mehelyi* in the north-east of the area is the Karabudakhkentskaya Cave. The minimum, maximum and average temperatures in the cave during the wintering period of *R. mehelyi* are equal: 6.9 °C, 15.6 °C and 12.4 °C accordingly. The minimum humidity was 89.1 %, the maximum was 98.2 % and the average was 92.7 %. It was found that the temperature inside the shelter affects the number of individuals in the visible part of the cave and the formation of individual groupings. In addition, there is an increase in the number of individuals in April before the start of migration.

It was found that humidity does not affect the movement of the species inside the cave, but temperature is a factor determining the movement of animals and their crowding. Thus, to accurately record the number of species, which is important for carrying out environmental measures, it is necessary to take into account both indicators – temperature and time of research.

Key Words

Rhinolophus mehelyi, ecology, hibernation, Caucasus.

ВВЕДЕНИЕ

Подковонос Мегеля или очковый *Rhinolophus mehelyi* (Matschie, 1910) имеет обширный фрагментированный ареал, охватывающий страны южной Европы, юго-запада Азии и Северной Африки. Глобальный природоохранный статус – уязвимый вид (UV) [1].

Северо-западная граница ареала вида проходит по Северному Кавказу, а именно, по Республике Дагестан. Этот регион единственный в России, где регистрируется данный вид, что делает его одним из самых редких рукокрылых в стране [2].

Первые данные о его обитании в регионе были получены во второй половине прошлого века после обнаружения на зимовке в пещере Карабудахкенская (Къызташ/Живая) близ села Карабудахкент около 1000 особей [3]. В последующем в том же укрытии было отмечено размножение этого вида [4].

Несмотря на то, что колония *R. mehelyi* в Дагестане известна долгие годы, на данный момент имеются лишь спорадические данные о температуре в пещере во время зимовки. Высказано мнение о том, что вид присутствует в укрытии преимущественно в конце зимнего периода, когда он прилетает из других мест [2; 5; 6]. Вместе с тем, фактические данные, подтверждающие данную гипотезу, отсутствуют.

Таким образом, в настоящее время остаются неизвестны особенности экологии *R. mehelyi* на северо-западной периферии ареала в зимний период. Нехватка такой информации не позволяет разработать природоохранные мероприятия [7; 8], что необходимо ввиду

малочисленности вида и возрастающих для него рисков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились в период с сентября по апрель в 2019–2023 г. в пещере Карабудахкенская (Къызташ/Живая). Расположено укрытие юго-западнее г. Махачкалы близ с. Карабудахкент в предгорном районе на остепненном склоне. Протяженность пещеры составляет около 270 м, высота 0,5 м – 12 м, ходы расположены вдоль трещин в направлении юго-запад – северо-восток (рис. 1) [9].

Пещеру обследовали 1–2 раза в месяц с целью мониторинга фауны рукокрылых. При посещении вели учет животных, фиксировали количество отдельных групп и одиночных особей.

В пещере были установлены три автоматических логгера температуры и влажности TZ-TempU03 фирмы «Tzone Digital Technology» в местах присутствия исследуемого вида (рис. 1). Запись микроклиматических показателей велась каждые 120 минут весь период исследований.

С целью регистрации залетающих/покидающих пещеру рукокрылых в период с 13.03.2023 по 05.04.2023 были установлены фотоловушки «Филин» у входа и в центральной части пещеры, настроенные на срабатывание при движении.

Определение оптимальных значений температуры и влажности для *R. mehelyi* реализовано путем нелинейного регрессионного анализа по функции Гаусса в программе Past Version 4.14 [10].

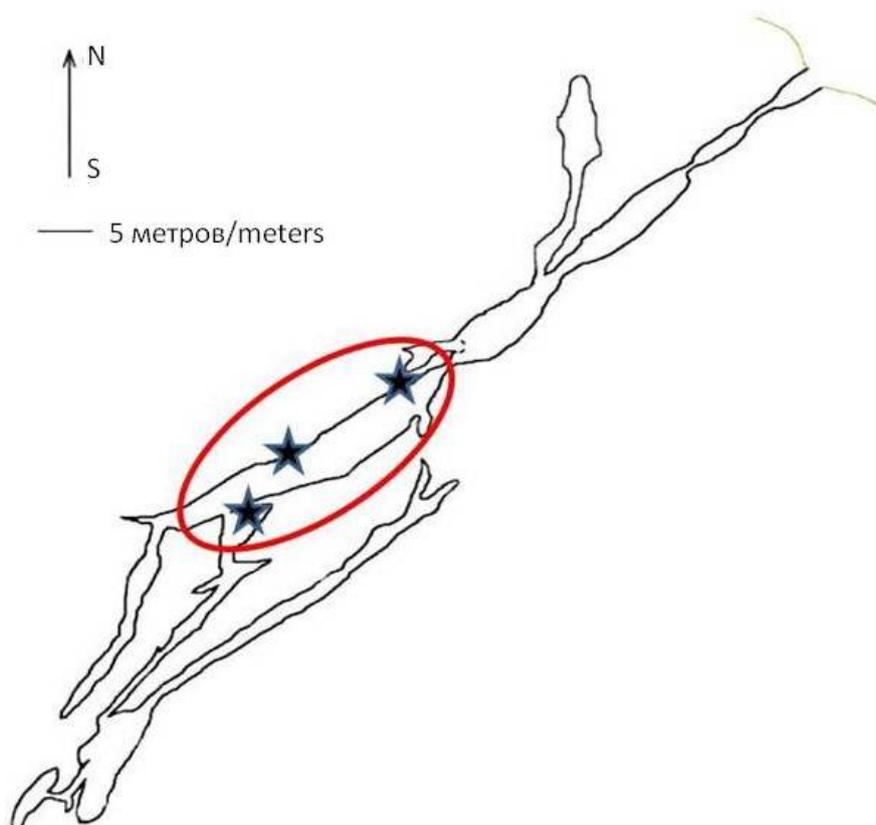


Рисунок 1. Схема пещеры Карабудахкенская (Къызташ/Живая) [9]

Звездочками обозначены места установки автоматических логгеров. Красным овалом обозначено место концентрации *R. mehelyi*

Figure 1. Plan of the Karabudakhkenstkaya Cave (Kyztash/Zhivaya) [9]

The asterisks indicate the installation locations of automatic loggers. The red oval indicates the location of concentration of *R. mehelyi*

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Минимальная температура, наблюдаемая в пещере Карабудахкенсткая (Къызташ/Живая), составляла 6,9 °С (январь 2020 г.), максимальная – 15,6 °С (сентябрь 2019 г.), средняя температура – 12,4 °С. Минимальная влажность составляла 89,1 % (февраль 2020 г.), максимальная – 98,2 % (октябрь 2021 г.), средняя влажность – 92,7 %.

В целом, наиболее холодными месяцами в пещере являются январь–февраль, наиболее теплыми – сентябрь, апрель (рис. 2). Минимальная влажность наблюдается в феврале, максимальная в октябре (рис. 2).

В ходе исследований было установлено, что *R. mehelyi* присутствует в пещере ежегодно. Помимо

него, в разные сезоны в пещере регистрируются еще 4 вида рукокрылых: *Rhinolophus ferrumequinum* (Schreber, 1774), *Rhinolophus hipposideros* Bechstein, 1800, *Myotis blythii* Tomes, 1857, *Plecotus macrobullaris* Kuzyakin, 1965 [11].

В отличие от других видов рукокрылых *R. mehelyi* отмечался исключительно в центральной части пещеры, которая представляет собой самый большой по площади и высоте зал (рис. 1).

За период наблюдений раньше всего *R. mehelyi* регистрировался в пещере 23.10.2021 г., позже всего – 26.04.2022 г. Минимальная численность в ходе зимовки наблюдается в январе, максимальная в апреле (рис. 3). В эти же месяцы наблюдается минимальные и максимальные колебания численности.

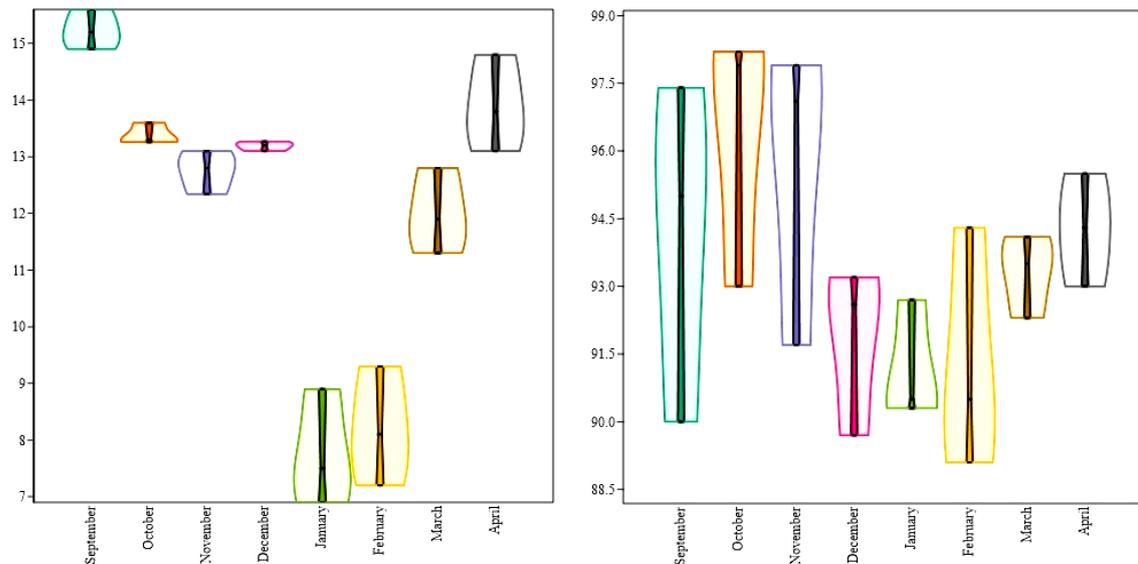


Рисунок 2. Скрипичный график, отражающий динамику температуры (слева (°C)) и влажности (справа (%)) в пещере Карабудахкенсткая (Къызташ/Живая)
Figure 2. Violin plot reflecting the dynamics of temperature (left (°C)) and humidity (right (%)) in the Karabudakhkenstkaya Cave (Kyztash/Zhivaya)

Применение функции Гаусса позволило установить, что пригодная для зимовки *R. mehelyi* температура колеблется в пределах 12,5–15,5 °С с оптимум около 14,2 °С. Влажность колеблется в пределах 84,1–94,5 % с оптимумом около 89 % (рис. 4). Схожие данные были получены в укрытиях из других регионов [12; 13].

R. mehelyi отмечался во всем диапазоне показателей влажности. Вместе с тем, при понижении температуры ниже 12,5 °С животные не наблюдались в обозримой части пещеры, либо присутствовали в единичных экземплярах под сводом, где значения температуры выше. Помимо этого, при понижении температуры наблюдается большее количество скопления особей (от 9 до 47 особей). При значениях температуры близких к оптимальным увеличивается частота встреч одиночно висящих животных.

Температура является фактором, обуславливающим передвижение животных внутри пещеры и их скученность. Это обстоятельство, наравне с месяцем проведения исследований, является важнейшим при учете животных. Посещение укрытия при неблагоприятных для *R. mehelyi* условиях может в значительной степени повлиять на данные о численности вида и их интерпретацию.

Мнение о значительном сокращении вида во время зимовки в обследованной пещере, высказанное ранее [14], не соответствует действительности, так как основано на единичных учетах, проведенных в зимний и ранневесенний период, когда количество животных минимально по естественным причинам. Максимальное количество животных отмеченное нами, составляет 850 особей (22.04.2023 г.), что соизмеримо с данными 1972 г. [2].

Несмотря на относительную стабильность численности зимней группировки *R. mehelyi* в пещере Карабудахкенсткая (Къызташ/Живая), в настоящее время существует значительная для нее угроза. Данная пещера является одной из наиболее доступных и известных в Дагестане, что обуславливает ее частое посещение туристами. За период работы фотоловушки в нетуристический сезон в пещере было зафиксировано 5 туристических групп. После каждого посещения убежища людьми наблюдалась активность рукокрылых, которые летали не только внутри пещеры, но и покидали ее. В свою очередь, пробуждение животных в результате беспокойства, а также повышение температуры внутри зимних убежищ в результате их посещения туристами, являются факторами, приводящими к гибели животных и смене мест гибернации [8].

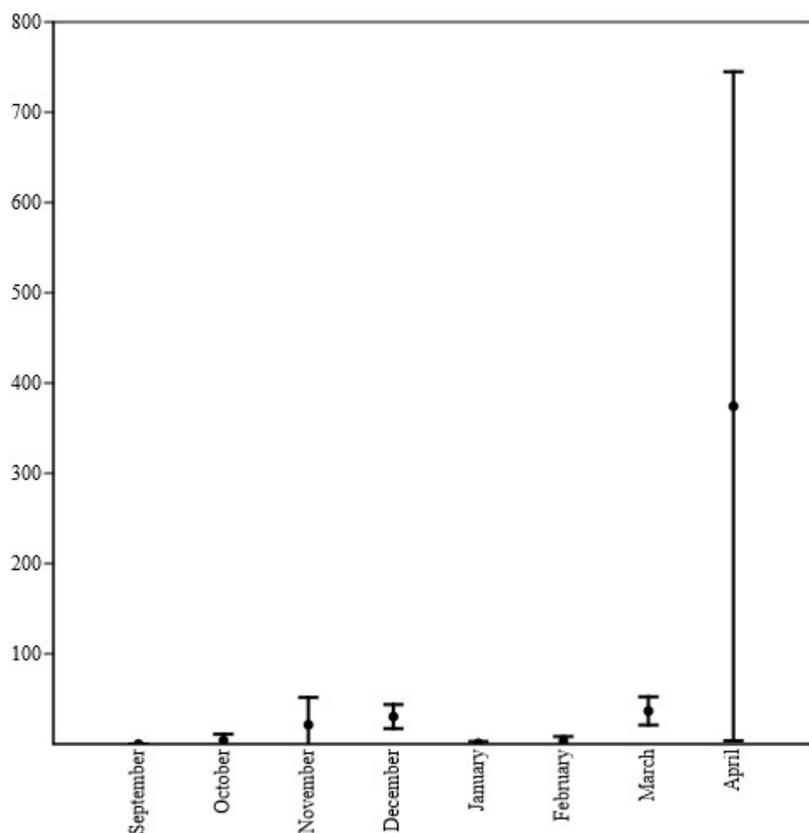


Рисунок 3. Численность *R. mehelyi* в пещере Карабудахкенская (Къызташ/Живая) в 2019–2023 гг.
 Примечание: усы – стандартное отклонение
Figure 3. The number of *R. mehelyi* in the Karabudakhkenstkaya Cave (Kyztash/Zhivaya) in 2019–2023
 Note: The “mustaches” of the graph are the standard deviation

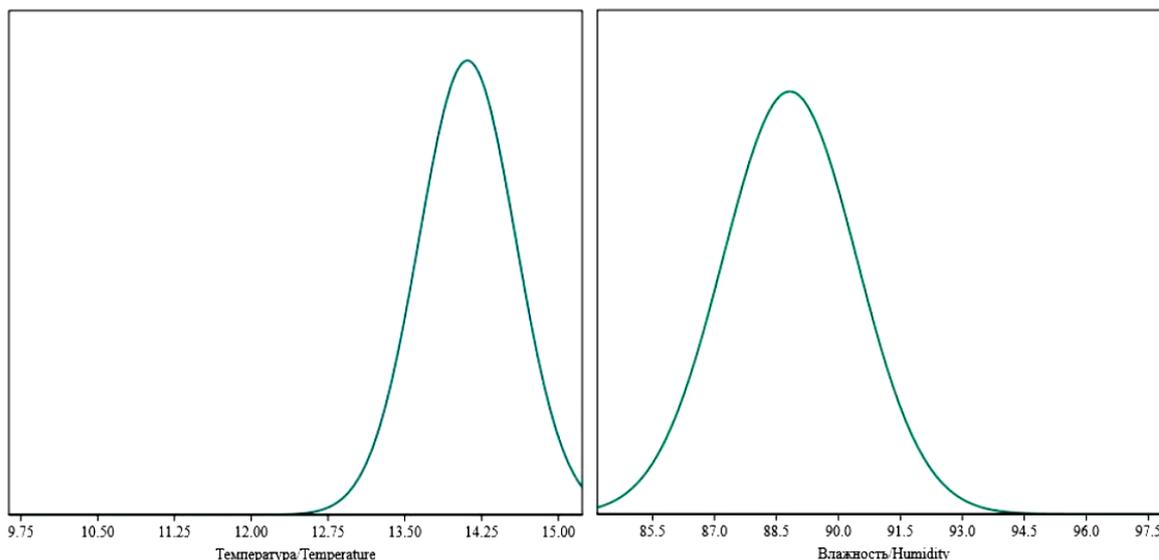


Рисунок 4. Нелинейная регрессионная модель по функции Гаусса отражающая изменение численности *R. mehelyi* при различных значениях температуры (слева [°C]) и влажности (справа [%]) в пещере Карабудахкенская (Къызташ/Живая)
Figure 4. A nonlinear regression model using the Gauss function reflecting the change in the abundance of *R. mehelyi* at different values of temperature (left [°C]) and humidity (right [%]) in the Karabudakhkenstkaya Cave (Kyztash/Zhivaya)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Зимняя колония *R. mehelyi* в пещере Карабудахкенская (Къызташ/Живая) располагается с октября по апрель. Минимальное количество особей отмечается в самый холодный месяц (январь), максимальное – в наиболее

теплый (апрель). Оптимальная температура для гибернации *R. mehelyi* около 14,2 °C, влажность около 89 %. Колебания температуры в период зимовки обуславливают перемещения животных внутри нее и образование отдельных групп.

При определении численности *R. mehelyi* необходимо учитывать влияние температуры и период проведения исследований. Данное обстоятельство является важным, так как вид относится к числу наиболее редких в регионе.

Наибольшую угрозу для исследованной группировки представляет неконтролируемое посещение пещеры туристами.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Экспедиционные работы до 2022 г. и установка автоматических логгеров выполнены при поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта No 22-24-00617. Экспедиционные работы в 2023 г. и камеральная обработка данных выполнены при поддержке Российского научного фонда No 22-74-00047.

ACKNOWLEDGMENT

The expedition work until 2022 and the installation of automatic loggers were carried out with the support of the Russian Science Foundation within the framework of scientific project No. 22-24-00617. The field work in 2023 and in-house data processing were carried out with the support of the Russian Science Foundation No. 22-74-00047.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Alcauldé, J., Benda, P., Juste, J. *Rhinolophus mehelyi*. The IUCN Red List of Threatened Species. Available at: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-2.RLTS.T19519A21974380.en>. (accessed 03.12.2023)
2. Амирханов З.М. О зимовке подковоносов Мегели (*Rhinolophus mehelyi* Matschie) в Дагестане // Материалы 1 Всесоюзного совещания по рукокрылым, Ленинград, 6–9 февраля, 1974. С. 91–92.
3. Красная книга Российской Федерации, том «Животные». 2-ое издание. Москва: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. 1128 с.
4. Кожурина Е.И., Стрелков П.П. Редкие виды рукокрылых фауны бывшего СССР и России // Редкие виды млекопитающих России и сопредельных территорий. Москва: Териологическое общество, 1999, С. 168–187.
5. Смирнов Д.Г., Джамирзоев Г.С., Газарян С.В., Вехник В.П., Быков Ю.А. Рукокрылые (Chiroptera) Дагестана: обзор фауны по результатам исследований 2017–2019 гг. // *Plecotus et al.* 2019. Вып. 22. С. 3–48.
6. Смирнов Д.Г., Вехник В.П., Джамирзоев Г.С. Предварительные данные о зимовках рукокрылых в Дагестане: места находок и экологические особенности // *Plecotus et al.* 2021. Вып. 24. С. 3–17.
7. Puechmaille S.J. *Mehely's Horseshoe Bat Rhinolophus mehelyi* Matschie, 1901 // *Handbook of the Mammals of Europe*. Cham: Springer International Publishing, 2021. С. 1–28.
8. Măntoiu D.Ş., Mirea I.C., Şandric I.C., Cişlariu A.G., Gherghel I., Constantin S., Moldovan, O.T. Bat dynamics modelling as a tool for conservation management in subterranean environments // *Plos one*. 2022. V. 17. N 10. Article ID: e0275984. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275984>
9. Гусендибиров Д.С. Крупные пещеры предгорного Дагестана // *Известия Дагестанского государственного*

- педагогического университета. Естественные и точные науки. 2012. Т. 1. С. 90–94.
10. Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // *Palaeontologia Electronica*. 2001. vol. 4 no. 1. P. 1–9.
 11. Жигалин А.В., Муташев Б.А., Казаватова А.С., Абдулхаликова Д.М., Насрутдинов Б.У. Фауна позвоночных пещеры Къызташ (Карабудахкентской/Живой) в Республике Дагестан // Юг России: экология, развитие. 2023. Т. 18. N 2. С. 6–14. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-2>
 12. Gaisler J. *Rhinolophus mehelyi* – *Mehelyi Hufeisennase*. *Handbuch der Säugetiere Europas*. Wiebelsheim: Aula Verlag, 2001. P. 91–104.
 13. Paksuz S., Özkan B., Postawa T. Seasonal changes of cave-dwelling bat fauna, and their relationship with microclimate in Dupnisa Cave System (Turkish Thrace) // *Acta Zoologica Cracoviensia-Series A: Vertebrata*. 2007. V. 50. N 1-2. P. 57–66.
 14. Smirnov D.G., Dzhampirzoev G.S., Bykov Y.A., Vekhnik V.P. New Findings of Rare Bat Species (Chiroptera) in the Eastern Caucasus (Dagestan) // *Biology Bulletin*. 2023. V. 50. N 7. P. 1615–1625.

REFERENCES

1. Alcauldé, J., Benda, P., Juste, J. *Rhinolophus mehelyi*. The IUCN Red List of Threatened Species. Available at: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-2.RLTS.T19519A21974380.en>. (accessed 03.12.2023)
2. Amirkhanov Z.M. О зимовке подковоносов Мегели (*Rhinolophus mehelyi* Matschie) в Дагестане [On wintering of horseshoe beetles of Megeli (*Rhinolophus mehelyi* Matschie) in Dagestan]. *Materialy 1 Vsesoyuznogo soveshchaniya po rukokrylym, Leningrad, 6–9 fevralya, 1974* [Proceedings of the 1st All-Union Meeting on Bats, Leningrad, 6–9 February, 1974]. Leningrad, 1974, pp. 91–92. (In Russian)
3. *Krasnaya kniga Rossiiskoi Federatsii, tom «Zhivotnye»* [The Red Book of the Russian Federation, volume "Animals"]. Moscow, Russian Scientific Research Institute of Ecology Publ., 2021, 2nd ed., 1128 p. (In Russian)
4. Kozhurina E.I., Strelkov P.P. *Redkie vidy rukokrylykh fauny byvshego SSSR i Rossii* [Rare species of bat fauna of the former USSR and Russia]. In: [Rare species of mammals of Russia and adjacent territories]. Moscow, Theriological Society Publ., 1999, pp. 168–187. (In Russian)
5. Smirnov D.G., Dzhampirzoev G.S., Gazaryan S.V., Vekhnik V.P., Bykov Yu.A. Bats (Chiroptera) of Dagestan: review of fauna resulted from research in 2017–2019. *Plecotus et al.* 2019, no. 22, pp. 3–48. (In Russian)
6. Smirnov D.G., Vekhnik V.P., Dzhampirzoyev G.S. Primary data of over wintering bats in Dagestan: finding sites and ecological peculiarities. *Plecotus et al.* 2021, no. 24, pp. 3–17. (In Russian)
7. Puechmaille S.J. *Mehely's Horseshoe Bat Rhinolophus mehelyi* Matschie, 1901. *Handbook of the Mammals of Europe*. Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 1–28.
8. Măntoiu D.Ş., Mirea I.C., Şandric I.C., Cişlariu A.G., Gherghel I., Constantin S., Moldovan O.T. Bat dynamics modelling as a tool for conservation management in subterranean environments. *Plos one*, 2022, vol. 17, no. 10, article id: e0275984. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275984>

9. Gusendibirov D.S. Large caves of Foothill Dagestan. *Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauki* [News of the Dagestan State Pedagogical University. Natural and exact sciences]. 2012, no. 1, pp. 90–94. (In Russian)
10. Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001, vol. 4, no. 1, pp. 1–9.
11. Zhigalin A.V., Mutashev B.A., Kazavatova A.S., Abdulhalikova D.M., Nasrutdinov B.U. The vertebrate fauna of the Kyzdash cave (Karabudakhkentskaya/Zhivoy) in the Republic of Dagestan. *South of Russia: ecology, development*, 2023, vol. 18, no. 2, pp. 6–14. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-2>
12. Gaisler J. *Rhinolophus mehelyi* – *Mehelyi Hufeisennase*. *Handbuch der Säugetiere Europas*. Wiebelsheim: Aula Verlag, 2001. pp. 91–104.
13. Paksuz S., Özkan B., Postawa T. Seasonal changes of cave-dwelling bat fauna, and their relationship with microclimate in Dupnisa Cave System (Turkish Thrace). *Acta Zoologica Cracoviensia-Series A: Vertebrata*. 2007, vol. 50, no. 1-2, pp. 57–66.
14. Smirnov D.G., Dzhamirzoev G.S., Bykov Y.A., Vekhnik V.P. New Findings of Rare Bat Species (Chiroptera) in the Eastern Caucasus (Dagestan). *Biology Bulletin*. 2023, vol. 50, no. 7, pp. 1615–1625.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Александр В. Жигалин, Батыргыши А. Муташев проводили обследование пещер. Алимурад А. Гаджиев и Александр Ю. Алексеев участвовали в организации и камеральной обработке данных. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Alexander V. Zhigalin and Batyrgishi A. Mutashev conducted examination of the cave and data gathering. Alimurad A. Gadzhiev and Alexander Yu. Alekseev participated in the organisation and desk data processing. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Александр В. Жигалин / Alexander V. Zhigalin <https://orcid.org/0000-0003-4661-0560>

Алимурад А. Гаджиев / Alimurad A. Gadzhiev <https://orcid.org/0000-0002-7359-1951>

Батыргыши А. Муташев / Batyrgishi A. Mutashev <https://orcid.org/0000-0002-6078-9002>

Александр Ю. Алексеев / Alexander Yu. Alekseev <https://orcid.org/0000-0003-0015-9305>

Оригинальная статья / Original article

УДК 599.4

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-6



Первая находка прудовой ночницы *Myotis dasycneme* (Voie, 1825) в Ставропольском крае, Западный Кавказ, Россия

Алексей А. Маслов^{1,2}, Александр Н. Иваницкий³, Александр Ю. Алексеев^{1,4}¹НИИ вирусологии, Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины, Новосибирск, Россия²Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия³Карадагская научная станция имени Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФИЦ

«Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», Феодосия, Россия

⁴Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия**Контактное лицо**

Алексей А. Маслов, младший научный сотрудник, лаборатория экологии сообществ позвоночных животных, Институт систематики и экологии животных СО РАН; 630091 Россия, г. Новосибирск, ул. Фрунзе, 11.

Тел. +79133825738

Email a.maslov.nsc@gmail.comORCID <https://orcid.org/0000-0003-4355-9026>**Формат цитирования**

Маслов А.А., Иваницкий А.Н., Алексеев А.Ю. Первая находка прудовой ночницы *Myotis dasycneme* (Voie, 1825) в Ставропольском крае, Западный Кавказ, Россия // Юг России: экология, развитие. 2024. Т. 19, N 1. С. 67-71. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-6

Получена 2 декабря 2023 г.

Прошла рецензирование 14 января 2024 г.

Принята 15 января 2024 г.

Резюме

Целью работы являлось описание находки прудовой ночницы *Myotis dasycneme* (Voie, 1825) в окрестностях г. Железноводск, Ставропольский край, Россия в августе 2023 года.

Нами была обследована Пещера летней мерзлоты – искусственная штольня длиной около 400 метров с небольшими тупиковыми ответвлениями.

Прудовую ночницу обнаружили в небольшой каверне. Это первая находка данного вида на территории Ставропольского края и третья находка на Кавказе. Первые находки прудовой ночницы сделаны на Западном Кавказе в 1999 и 2003 г. соответственно.

Эта находка позволяет с большей вероятностью судить о существовании на Кавказе небольшой популяции прудовой ночницы. Примечательно, что данный вид ночниц (*M. dasycneme*), вместе с *Myotis daubentonii*, являются единственными из известных естественных диких хозяев лиссавируса летучих мышей 2 типа в Европе. Учитывая тот факт, что летучие мыши считаются естественными хозяевами всех типов коронавирусов, а у прудовой ночницы ранее в европейской популяции (Германия, Нидерланды) показали циркуляцию и альфа- и бетакоронавирусов, мы должны осознавать потенциал этого вида как резервуара патогенных зоонозных коронавирусов.

Ключевые слова

Chiroptera, рукокрылые, гладконосые летучие мыши, ночницы, Кавказ.

The first find of the pond bat *Myotis dasycneme* (Boie, 1825) in Stavropol Territory and western Caucasus, Russia

Aleksey A. Maslov^{1,2}, Alexander N. Ivanitzky³ and Alexander Yu. Alekseev^{1,4}

¹Research Institute of Virology, Federal Research Center for Fundamental and Translational Medicine, Siberian Branch, Russian Academy of Science, Novosibirsk, Russia

²Institute of Systematics and Ecology of Animals, Siberian Branch, Russian Academy of Science, Novosibirsk, Russia

³T.I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve of the Russian Academy of Sciences & branch of the A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences, Feodosiya, Russia

⁴Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Aleksey A. Maslov, Junior researcher, Laboratory of Ecology of Vertebrate Animal Communities, Institute of Systematics and Animal Ecology, Siberian Branch, Russian Academy of Science; 11 Frunze St, Novosibirsk, Russia 630091.

Tel. +79133825738

Email a.maslov.nsc@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4355-9026>

How to cite this article

Maslov A.A., Ivanitzky A.N., Alekseev A.Yu. The first find of the pond bat *Myotis dasycneme* (Boie, 1825) in Stavropol Territory and western Caucasus, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(1):67-71. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-6

Received 2 December 2023

Revised 14 January 2024

Accepted 15 January 2024

Abstract

The aim of the work was to describe the discovery of a pond bat *Myotis dasycneme* (Boie, 1825) in the vicinity of Zheleznovodsk, Stavropol Territory, Russia in August 2023.

We examined the Letnei Merzloti Cave, an artificial tunnel about 400 metres long with small dead-end caverns.

The pond bat was found in a small dead-end cavern. This is the first find of this species in the Stavropol region and the third find in the Caucasus. The first finds of the pond bat were made in the Western Caucasus in 1999 and 2003.

This find provides more data about a small population of pond bats in the Caucasus. It is noteworthy that this species of bat (*M. dasycneme*), together with *M. daubentonii*, are the only known natural wild hosts of the European bat lissavirus virus type 2 in Europe. Given the fact that bats are considered natural hosts of all types of coronaviruses, and that the pond bat previously evidenced the circulation of both alpha and beta coronaviruses in the European population (Germany, the Netherlands), we must be aware of the potential of this species as a reservoir of pathogenic zoonotic coronaviruses.

Key Words

Chiroptera, bats, Vespertilionidae, Mouse-eared bats, Caucasus.

ВВЕДЕНИЕ

Прудовая ночница *Myotis dasycneme* (Boie, 1825) распространена в лесной и лесостепной зонах северной и восточной Европы, Западной Сибири, Республики Казахстан. Южной границей распространения является северное Черноморье – юго-запад Румынии, северо-запад Болгарии, юг Херсонской области, Керченский полуостров Крыма, Западный Кавказ [1–4]. Считается оседлой, хотя перед зимовкой может совершать кочёвки протяжённостью 200–300 километров. Зимует в подземных убежищах [5]. Внесена в Красные книги Алтайского края, Свердловской, Курской, Новосибирской, Кемеровской областей, республик Алтай, Карелия и Хакасия, имеет в них 3 или 4 категорию. Численность и её тенденции изучены недостаточно.

На Кавказе прудовую ночницу впервые обнаружил С.В. Газарян [3] на зимовке в карстовой пещере Гунькина-4 в Урупском районе Карачаево-Черкесской республики. Он же обнаружил череп прудовой ночницы возрастом не менее нескольких сотен лет в субфоссильном материале из пещеры Каньон примерно в 100 километрах к западу от пещеры Гунькина-4.

Целью работы являлось описание первой находки прудовой ночницы *Myotis dasycneme* (Boie,

1825) в окрестностях г. Железноводск, Ставропольский край, Россия в августе 2023 года.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

19 и 21 августа 2023 г. нами была обследована Пещера летней мерзлоты – искусственная штольня длиной около 400 метров с небольшими тупиковыми ответвлениями. Штольня расположена в окрестностях г. Железноводск, Ставропольский край, Россия и активно посещается людьми.

Летучих мышей отлавливали методом ручного сбора [6]; при невозможности отлова делали фотографии для дальнейшего определения и оценки численности.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Прудовую ночницу обнаружили в небольшой каверне на высоте около 1,8 метра от пола на удалении около 40 метров от входа в штольню. Это была взрослая самка с длиной предплечья 47 мм. На рисунке 1 фото прудовой ночницы в момент обнаружения (справа) и карта с отмеченными на ней тремя известными находками прудовой ночницы на Кавказе (слева).

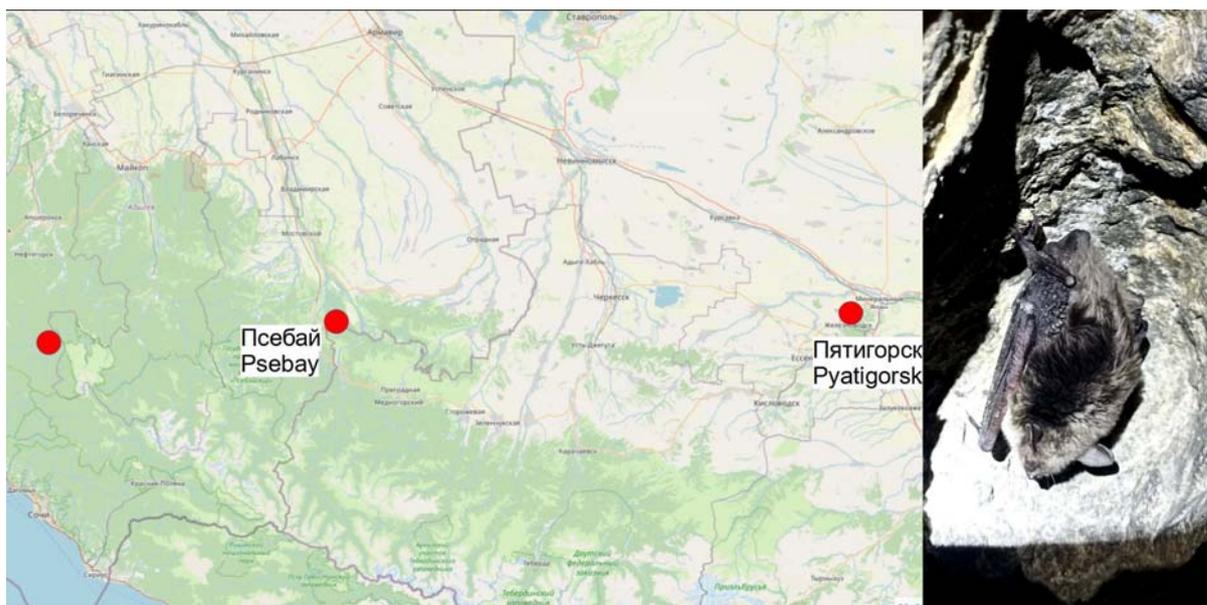


Рисунок 1. Карта-схема находок *M. dasycneme* на Кавказе и фото *M. dasycneme* в Пещере Летней Мерзлоты. На карте слева направо отмечены п. Каньон (Краснодарский край), п. Гунькина-4 (Карачаево-Черкесская республика) и пещера Летней Мерзлоты (Ставропольский край)

Figure 1. Map of location of finds of *M. dasycneme* in the Caucasus and a photo of *M. dasycneme* in the Summer Permafrost Cave

The map shows from left to right the Canyon Cave (Krasnodar Territory), the Gunkina-4 Cave (Karachay-Cherkess Republic) and the Letnei Merzloti Cave (Stavropol Territory)

Кроме этого, в пещере находилось до 30 остроухих ночниц *Myotis blythii* (Tomes, 1857), днём – в скоплении в плохо просматриваемой щели в потолке в 10 метрах от входа [7], в тёмное время суток – одиночно и в небольших группах в боковом ответвлении штольни. Судя по фотографиям из открытых источников, численность остроухих ночниц в этом убежище достигает нескольких сотен. Кроме этого, была встречена одна особь *Myotis tschuliensis* (Kuzynin, 1935) [8].

Описанная находка прудовой ночницы является первой для Ставропольского края и третьей для Кавказа в целом. Ранее известные находки располагаются на 200–300 километров западнее, при этом все три находки расположены на 44-й параллели. Следующая находка этого вида находится на 48-й параллели в посёлке Нижний Чир Волгоградской области [9] почти в 500 километрах севернее любой из трёх находок прудовой ночницы на Кавказе.

Поскольку в пространстве между 45 и 48 параллелью нет пригодных для зимовки подземных

убежищ и нет встреч прудовой ночницы, наша находка подтверждает существование на Кавказе популяции, изолированной от всех известных частей ареала этого вида. Чтобы оценить численность и тенденции изменения численности этой популяции, необходимы дальнейшие исследования и учёты рукокрылых.

Примечательно, что данный вид ночниц (*M. dasycneme*), вместе с *Myotis daubentonii*, являются единственными из известных естественных диких хозяев лиссавируса летучих мышей 2 типа (EBLV-2) в Европе [10–12] за исключением единственного случая у *Nyctalus noctula* [11]. Передача EBLV-2 человеку произошла дважды: в Финляндии в 1985 году [13] и в Великобритании в 2002 году [14]. Распространение вируса EBLV-2 на другие виды животных пока не зарегистрировано.

Исследования показывают, что летучие мыши являются естественными хозяевами всех типов коронавирусов. Так, исследования 2007 года на носительство коронавирусов, показало, что в европейской популяции (Германия) прудовых ночниц (*M. dasycneme*) уровень обнаружения альфакоронавирусов (Alphacoronavirus, коронавирус 1 типа) был самым высоким из всех видов летучих мышей и составил 24,4 % [15].

Позднее в Нидерландах была показано уже циркуляция Бетакоронавирусов (Betacoronavirus, коронавирус 2 типа) у 16,9 % из 105 исследуемых особей прудовых ночниц [16]. Бетакоронавирусы подразделяются на разные подгруппы, которые включают в себя также все SARS и SARS-подобные коронавирусы от разных хозяев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описана первая находка прудовой ночницы *Myotis dasycneme* (Boie, 1825) в Ставропольском крае, Россия. Эта находка позволяет с большей вероятностью судить о существовании на Кавказе небольшой популяции прудовой ночницы. Прудовая ночница является естественным диким хозяином лиссавируса летучих мышей 2 типа в Европе. Также у прудовых ночниц в европейской популяции ранее показана циркуляция альфа и бетакоронавирусов. Необходима дальнейшая оценка численности этой популяции прудовой ночницы, изучение её экологических особенностей, оценка контактов с другими видами с учетом потенциала этого вида как резервуара патогенных зоонозных вирусов.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы благодарны Комоловой А.В. за помощь в учёте и фотосъёмке рукокрылых. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №22-24-00617.

ACKNOWLEDGMENT

The authors are grateful to A.V. Komolova. for assistance in counting and photographing bats. The research work was carried out with the support of the Russian Science Foundation scientific project No. 22-24-00617.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иваницкий А.Н., Алексеев А.Ю. Распространение рукокрылых в субтропических районах Черноморья и прилегающих территориях // Юг России: экология,

развитие. 2023. Т. 18. N 4. С. 8–30. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-8-30

2. Kormos T. Középkori bölény és medvevadászok nyomai a krassószerényi hegységben. Természettudományi Közlemények. Budapest, 1912. N 44. P. 267–271.

3. Газарян С.В. Прудовая ночница *Myotis dasycneme* (Boie, 1825)-новый вид фауны рукокрылых Кавказа // Plecotus, et al. 2004. N 7. С. 102–103.

4. Popov V., Lakovski K.T. Southernmost postglacial record of Pond bat *Myotis dasycneme* (Boie, 1825) (Mammalia: Chiroptera) – Varteshka Cave, NW Bulgaria // Acta Zoologica Bulgarica. 2019. V. 71. N 1. P. 57–62.

5. Павлинов И.Я. Звери России: справочник-определитель. Насекомоядные, Рукокрылые, Зайцеобразные, Грызуны. Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2019. Ч. 1. 340 с.

6. Тиунов М. П., Крусков С. В., Орлова М. В. Рукокрылые Дальнего Востока России и их эктопаразиты. Москва: Перо, 2021. 191 с.

7. iNaturalist // iNaturalist.org. URL: <https://www.gbif.org/occurrence/4405427800> (дата обращения: 13.11.2023)

8. iNaturalist // iNaturalist.org. URL: <https://www.gbif.org/occurrence/4405435818> (дата обращения: 13.11.2023)

9. Стрелков П.П., Ильин В.Ю. Рукокрылые (Chiroptera, Vespertilionidae) юга Среднего и Нижнего Поволжья // Труды Зоологического института АН СССР. 1990. Т. 225. С. 42–167.

10. Amengual B., Whitby J.E., King A., Cobo J.S., Bourhy H. Evolution of European bat lyssaviruses // J Gen Virol. 1997. N 78. P. 2319–2328.

11. Harris S.L., Brookes S.M., Jones G., Hutson A.M., Racey P.A., Aegerter J., Smith G.C., McElhinney L.M., Fooks A.R. European bat lyssaviruses: Distribution, prevalence and implications for conservation // Biol Conserv. 2006. V. 131. N 2. P. 193–210. DOI: 10.1016/j.biocon.2006.04.006

12. Van der Poel W.H.M., Van der Heide R., Verstraten E.R., Takumui K., Lina P.H.C., Kramps J.A. European Bat Lyssaviruses, the Netherlands. Emerging Infectious Diseases 11. URL: <http://www.cdc.gov/ncidod/EID/vol11no12/04-1200.htm> (дата обращения: 01.12.2023)

13. Lumio J., Hillbom M., Roine R., Ketonen L., Haltia M., Valle M., Neuvonen E., Lahdevirta J. Human rabies of bat origin in Europe // The Lancet. 1986. V. 327. Iss. 8477. P. 378.

14. Fooks A.R., McElhinney L.M., Pounder D.J., Finnegan C.J., Mansfield K., Johnson N., Brookes S.M., Parsons G., White K., McIntyre P.G., Nathwani D. Case report: isolation of a European bat lyssavirus type-2a from a fatal human case of rabies encephalitis // Journal of Medical Virology. 2003. V. 71. Iss. 2. P. 281–289.

15. Gloza-Rausch F., Ipsen A., Seebens A., Götsche M., Panning M., Drexler J.F., Petersen N., Annan A., Grywna K., Müller M., Pfefferle S., Drosten C. Detection and prevalence patterns of group I coronaviruses in bats, northern Germany // Emerg Infect Dis. 2008. V. 14. N 4. P. 626–631. DOI: 10.3201/eid1404.071439

16. Reusken C.B., Lina P.H., Pielaat A., de Vries A., Dam-Deisz C., Adema J., Drexler J.F., Drosten C., Kooi E.A. Circulation of group 2 coronaviruses in a bat species common to urban areas in Western Europe // Vector Borne Zoonotic Dis. 2010. V. 10. N 8. P. 785–791. DOI: 10.1089/vbz.2009.0173

REFERENCES

- Ivanitzky A.N., Alekseev A.Yu. Distribution of bats in the subtropical regions of the Black Sea coast and adjacent territories. *South of Russia: ecology, development*, 2023, vol. 18, no. 4, pp. 8–30. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-4-8-30
- Kormos T. Középkori bölény és medvevadászok nyomai a krassószörényi hegységben. *Természettudományi Közlemények*. Budapest, 1912, no. 44, pp. 267–271.
- Gazaryan S.V. Pond bat *Myotis dasycneme* (Boie, 1825) – a new species of bat fauna of the Caucasus. *Plecotus*, et al. 2004, no. 7, pp. 102–103. (In Russian)
- Popov V., Lakovski K.T. Southernmost postglacial record of Pond bat *Myotis dasycneme* (Boie, 1825) (Mammalia: Chiroptera) – Varteshka Cave, NW Bulgaria. *Acta Zoologica Bulgaria*. 2019, vol. 71, no. 1, pp. 57–62.
- Pavlinov I.Ya. *Animals of Russia: reference guide. Insectivores, Chiroptera, Lagomorpha, Rodents*. Moscow, Partnership of Scientific KMK Publ., 2019, P. 1, 340 p. (In Russian)
- Tiunov M.P., Krusko S.V., Orlova M.V. *Rukokrylye Dal'nego Vostoka Rossii i ikh ektoparazity* [Chiropterans of the Russian Far East and their ectoparasites]. Moscow, Pero Publ., 2021, 191 p. (In Russian)
- iNaturalist // iNaturalist.org. Available at: <https://www.gbif.org/occurrence/4405427800> (accessed 13.11.2023)
- iNaturalist // iNaturalist.org. Available at: <https://www.gbif.org/occurrence/4405435818> (accessed 13.11.2023)
- Strelkov P.P., Ilyin V.Yu. Chiroptera (Chiroptera, Vespertilionidae) of the south of the Middle and Lower Volga region. In: *Trudy Zoologicheskogo instituta AN SSSR* [Proceedings of the Zoological Institute of the USSR Academy of Sciences]. 1990, vol. 225, pp. 42–167. (In Russian)
- Amengual B., Whitby J.E., King A., Cobo J.S., Bourhy H. Evolution of European bat lyssaviruses. *Journal of General Virology*. 1997, no. 78, pp. 2319–2328.
- Harris S.L., Brookes S.M., Jones G., Hutson A.M., Racey P.A., Aegerter J., Smith G.C., McElhinney L.M., Fooks A.R. European bat lyssaviruses: Distribution, prevalence and implications for conservation. *Biological Conservation*, 2006, vol. 131, no. 2, pp. 193–210. DOI: 10.1016/j.biocon.2006.04.006
- Van der Poel W.H.M., Van der Heide R., Verstraten E.R., Takumui K., Lina P.H.C., Kramps J.A. European Bat Lyssaviruses, the Netherlands. *Emerging Infectious Diseases* 11. Available at: <http://www.cdc.gov/ncidod/EID/vol11no12/04-1200.htm> (accessed 01.12.2023)
- Lumio J., Hillbom M., Roine R., Ketonen L., Haltia M., Valle M., Neuvonen E., Lahdevirta J. Human rabies of bat origin in Europe. *The Lancet*. 1986, vol. 327, iss. 8477, p. 378.
- Fooks A.R., McElhinney L.M., Pounder D.J., Finnegan C.J., Mansfield K., Johnson N., Brookes S.M., Parsons G., White K., McIntyre P.G., Nathwani D. Case report: isolation of a European bat lyssavirus type-2a from a fatal human case of rabies encephalitis. *Journal of Medical Virology*. 2003, vol. 71, no. 2, pp. 281–289.
- Gloza-Rausch F., Ipsen A., Seebens A., Götttsche M., Panning M., Drexler J.F., Petersen N., Annan A., Grywna K., Müller M., Pfefferle S., Drosten C. Detection and prevalence patterns of group I coronaviruses in bats, northern Germany. *Emerging Infectious Diseases*, 2008, vol. 14, no. 4, pp. 626–631. DOI: 10.3201/eid1404.071439
- Reusken C.B., Lina P.H., Pielaat A., de Vries A., Dam-Deisz C., Adema J., Drexler J.F., Drosten C., Kooi E.A. Circulation of group 2 coronaviruses in a bat species common to urban areas in Western Europe. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 2010, vol. 10, no. 8, pp. 785–791. DOI: 10.1089/vbz.2009.0173

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Алексей А. Маслов собрал материал в экспедиции. Александр Н. Иваницкий проанализировал материал. Александр Ю. Алексеев провел описание результатов. Все авторы участвовали в определении видов летучих мышей, анализе данных, корректировали текст. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTION

Aleksey A. Maslov collected the material during field work. Alexander N. Ivanitzky analysed the material. Alexander Yu. Alekseev carried out the description of the results. All authors participated in the bat species typing, data analysis, corrected the text prior to submission. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Алексей А. Маслов / Aleksey A. Maslov <https://orcid.org/0000-0003-4355-9026>

Александр Н. Иваницкий / Alexander N. Ivanitzky <https://orcid.org/0000-0002-6111-5237>

Александр Ю. Алексеев / Alexander Yu. Alekseev <https://orcid.org/0000-0003-0015-9305>

Original article / Оригинальная статья

УДК 595.773.4; 632.772; 57.08

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-7



New species of the genus *Calycomyza* Hendel (Diptera, Agromyzidae) in the South Caucasus fauna

Nonna M. Grigoryan¹, Karine V. Balayan², Madina Z. Magomedova³,
Patimat D. Magomedova³ and Vahram T. Hayrapetyan¹

¹Scientific Centre of Zoology and Hydroecology, National Academy of Sciences, Republic of Armenia, Yerevan, Armenia

²A. Takhtajyan Institute of Botany, National Academy of Sciences, Republic of Armenia, Yerevan, Armenia

³Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Nonna M. Grigoryan, Ph.D., Scientific Centre of Zoology and Hydroecology, National Academy of Sciences, Republic of Armenia; 7 Paruyr Sevaki St, Yerevan, 0014 Armenia.

Tel. +37491297092

Email nonna.grigoryan.88@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8079-8574>

How to cite this article

Grigoryan N.M., Balayan K.V., Magomedova M.Z., Magomedova P.D., Hayrapetyan V.T. New species of the genus *Calycomyza* Hendel (Diptera, Agromyzidae) in the South Caucasus fauna. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(1):72-76. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-7

Received 22 November 2023

Revised 14 December 2023

Accepted 15 January 2024

Abstract

To study the diversity of agromyzids (leaf miners) in the South Caucasus, the species external morphological features, their host plants, the development of larvae and pupae and to assess the degree of crop infestation by leaf-miners.

The study was carried out within the framework of the scs 21-002 scientific program “Leaf miners as pests of agricultural plants (Diptera: Agromyzidae): the latest control measures”. Type samples were fixed in 75 % ethyl alcohol and deposited in the Agrarian Scientific Research Laboratory of the Scientific Centre of Zoology and Hydroecology. Species were identified by examining the male genitalia. The degree of damage of the host-plant was determined based on intensity indicators.

As a result of this research, a new species of the *Calycomyza* genus was discovered in the South Caucasus fauna. Larvae of *C. jucunda* (Wulp, 1867) were found on the leaves of *Beta vulgaris*, a host plant mentioned for the first time here. As a Nearctic species, it was also first discovered in the southern Caucasus.

The study of the male genitalia indicates expansion of the biogeographical distribution of *Calycomyza* species, as most of them are found in the Nearctic and Neotropical regions. In terms of intensity, *C. jucunda* is classified as a less dangerous species for agricultural crops.

Key Words

Diptera, Agromyzidae, *Calycomyza* Hendel, new species, fauna, leaf miner, South Caucasus.

Новые виды рода *Calycomyza* Hendel (Diptera, Agromyzidae) в фауне Южного Кавказа

Нонна М. Григорян¹, Карине В. Балаян², Мадина З. Магомедова³,
Патимат Д. Магомедова³, Ваграм Т. Айрапетян¹

¹Научный центр зоологии и гидроэкологии НАН РА, Ереван, Армения

²Институт ботаники им. А. Тахтаджяна НАН РА, Ереван, Армения

³Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Нонна М. Григорян, к.б.н., Научный центр зоологии и гидроэкологии; Национальная академия наук, Республика Армения; 0014 Армения, г. Ереван, ул. Паруйра Севака, 7. Тел. +37491297092

Email nonna.grigoryan.88@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8079-8574>

Формат цитирования

Григорян Н.М., Балаян К.В., Магомедова М.З., Магомедова П.Д., Айрапетян В.Т. Новые виды рода *Calycomyza* Hendel (Diptera, Agromyzidae) в фауне Южного Кавказа // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 1. С. 72-76. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-7

Получена 22 ноября 2023 г.

Прошла рецензирование 14 декабря 2023 г.

Принята 15 января 2024 г.

Резюме

Для изучения разнообразия агромизид на Южном Кавказе оценивали внешние морфологические характеристики вида, растений-хозяев, развитие личинок и куколок, а также степень заражения посевов минующими мухами.

Исследование проведено в рамках научной программы scs 21-002 «Минующие мухи – вредители сельскохозяйственных растений (Diptera: Agromyzidae), новейшие меры борьбы». Типовые образцы были зафиксированы в 75%-ном этиловом спирте и переданы на хранение в Аграрную научно-исследовательскую лабораторию Научного центра. Вид был идентифицирован путем исследования гениталий самца. Степень заражения растения-хозяина определяли по показателям интенсивности.

В результате исследований в фауне Южного Кавказа обнаружен новый вид рода *Calycomyza*. Личинки *C. jucunda* (Wulp, 1867) обнаружены на листьях *Beta vulgaris* – растения-хозяина, упомянутого впервые. Кроме того, как неарктический вид, он впервые был обнаружен на Южном Кавказе.

Исследование гениталий самцов свидетельствует о расширении биогеографического распространения видов *Calycomyza*, поскольку большинство из них встречается в Неарктическом и Неотропическом регионах. По интенсивности заражения *C. jucunda* относится к менее опасным видам сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова

Diptera, Agromyzidae, *Calycomyza* Hendel, новый вид, фауна, минующая муха, Южный Кавказ.

INTRODUCTION

The *Calycomyza* Hendel (1931) genus, belonging to the subfamily Phytomyzinae, was classified by Hendel as a subgenus of the *Dizygomyza* genus. Consequently, Nowakowski (1962) separated it as a full genus [1; 2]. Species belonging to the genus usually have yellow frons and notopleural areas, an entirely black scutellum, and a lack of presutural dorsocentral bristles.

Calycomyza is a small genus with 90 % of its species being distributed in the Nearctic and Neotropical regions. Only 5 species of the *Calycomyza* genus have been found in Europe [3].

C. jucunda was first described as *Agromyza jucunda* (Wulp, 1867). According to Frick (1956), the species' synonyms are *Agromyza jucunda* Wulp, *Dizygomyza (Calycomyza) jucunda* (Wulp), *Agromyza platyptera* Thomson, *Agromyza coronata* Loew, and *Phytobia (Calycomyza) coronata* (Loew) (Stegmaier, 1967) [4]. Species distinction based on external morphological features is difficult, but species affiliation is easy to determine by studying the male genitalia. Steyskal (1973) first studied the *C. jucunda* species male genitalia structure and revealed that the distyphallus of all the above-mentioned species has very minor changes [5].

Adults infect a number of plants of the Asteraceae family: *Ambrosia trifida* L., *Arctium* sp., *Artemisia douglasiana* Bess., *A. vulgaris* L., *Baccharis viminea* Dc., *Erigeron canadensis* L., *Grindelia squarrosa* (Pursh.) Dunal, *Helianthus annuus* L., *Heterotheca grandiflora* Nutt., *Solidago* sp., *Xanthinum* sp. and *Zinnia* sp. [6].

MATERIAL AND METHODS

The research was carried out in 2022 within the framework of the scs 21–002 scientific program. The study materials were gathered from the South Caucasus region in the South Caucasus. The mined leaves were stored in glass containers filled with wet sand at a temperature of 27 ± 1 °C and 75 ± 5 relative humidity. To determine the intensity of plant infection, the number of infected plant leaves was counted. The study of external morphological features was carried out using the ADSM302 and Optika B–290 digital binocular microscopes. Data collection and statistical analysis were made using the methods accepted for the family [7–9]. For species identification, male genitalia were kept in 10 % KOH for about 8 hours. Various guides have been used for differentiating mining flies [10; 11]. The article presents the species' quantitative data, including dates and GPS data.

Abbreviations: acr – acrostichal bristle, dc – dorso-central bristle, a – anterior, ad – anterodorsal, av – antero-ventral, d – dorsal, p – posterior, pd – posterodorsal, pv – posteroventral, v – ventral.

RESULTS AND DISCUSSION

Material examined: 1♂, 1♀, *Beta vulgaris* L. (Amaranthaceae), South Caucasus region (39°54'45.99"N 46°47'28.19"E), 24–VII–2022.

According to external morphological features, *C. jucunda* was very close to *C. humeralis* (Fig. 1). Previously, *C. humeralis* and *C. cynoglossi* species were also found and studied in the South Caucasus [12].

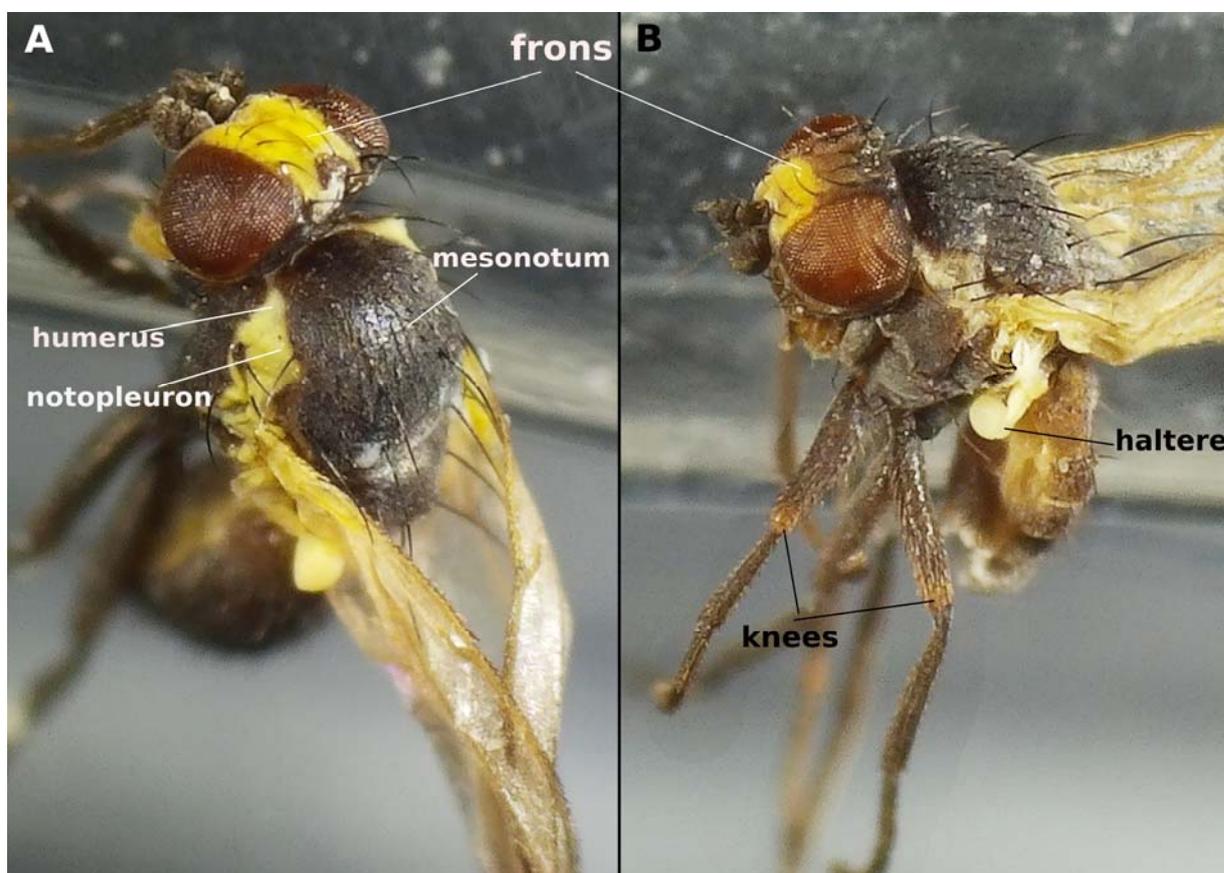


Figure 1. External characters: A – *C. humeralis*, B – *C. jucunda*

Рисунок 1. Внешние характеристики: А – *C. humeralis*, В – *C. jucunda*

The first instar larvae found on the leaves of *Beta vulgaris* formed linear mines between leaf veins, which were later replaced by broad white blotch mines during development. Plant intensity was 10–15 %. Larval development lasted 4 days (26 °C). Pupation takes place inside the mine. Unlike the larvae of *C. humeralis*, the larvae frass of *C. jucunda* didn't stick to the end of the pupa but were scattered around the pupa in the form of small dots. Pupal development takes 10–11 days (25±1 °C).

Body length was 1.5mm (♂) and 2.0mm (♀), frons yellow, normally darkened to level of upper ors, which differs from *C. humeralis* species. They had 2 ors, 2 ori, and all antennal segments were black. Notopleuron, rear of humerus, upper margin of mesopleuron yellow, squama, and fringe whitish yellow. Mesonotum was moderately shining black, with 3+1 dc and acr randomly arranged.

Scutellum was black. The legs were completely black, and all the knees were yellow. Halteres yellow.

Wing length was 1.4mm (♂) and 1.9mm (♀), the costa extended to vein M1+2, the discal cell was small and the last section (a) of M3+4 was 3–3.5 times longer than the penultimate (b), which was also observed in *C. humeralis* (Fig. 2). In the literature, the unique holotype had a 2.2 mm wing length, and the last section of M3+4 was 2–2.5 times the length of the penultimate [11]. Compared to Spencer's data, the wing length is short, probably due to the region's mountainous topography. Male genitalia with aedeagus had distiphallus only slightly extended at rear, short anterior ventral lobes distinctly broadened, posterior lobes narrow and fully fused, and mesophallus not greatly widening toward rear. The sperm pump was large, almost equal to the aedeagus, while in *C. humeralis* it was 1/3 of the aedeagus (Fig. 3).

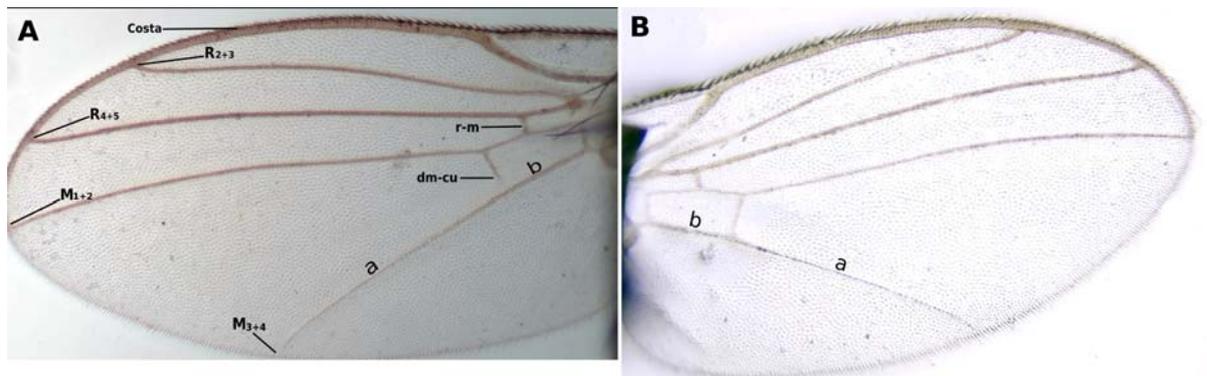


Figure 2. Wing structure: A – *C. humeralis*, B – *C. jucunda*
Рисунок 2. Структура крыла: А – *C. humeralis*, В – *C. jucunda*

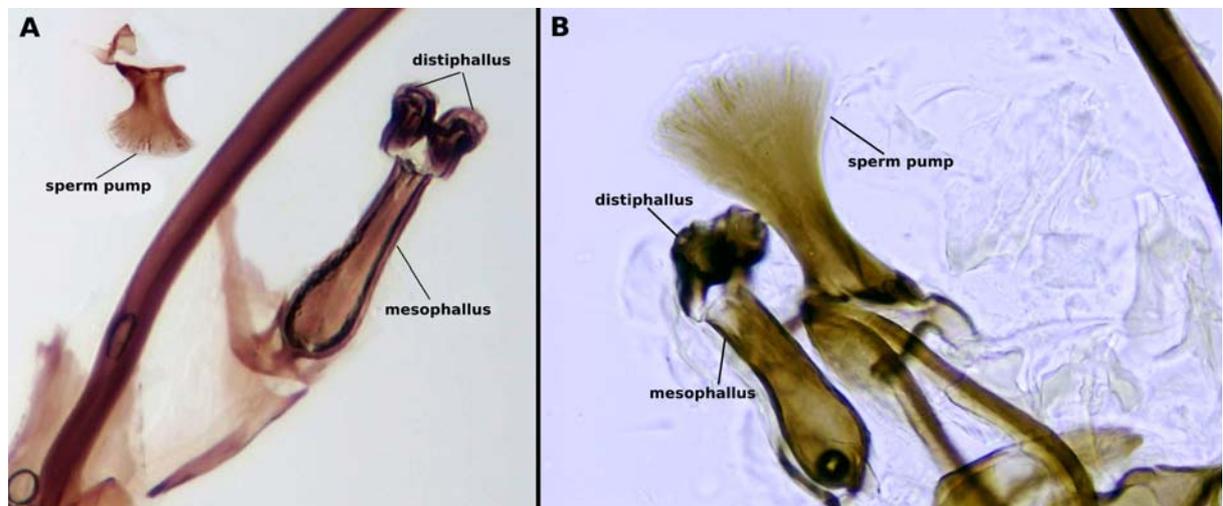


Figure 3. Male genitalia: A – *C. humeralis*, B – *C. jucunda*
Рисунок 3. Гениталии самца: А – *C. humeralis*, В – *C. jucunda*

CONCLUSION

The species *C. jucunda* of the genus *Calycomyza* Hendel is described in the South Caucasus for the first time. Studies of host plants showed that *C. jucunda*, a pest of the Asteraceae family, was first detected on the leaves of *Beta vulgaris* (Amaranthaceae). On considering the number of cultivated plants infected by the leaf miner as well as plant intensity indicators, it can be concluded that *C. jucunda* is a less common and harmful species for agricultural crops.

REFERENCES

- Hendel F., Linder E. Agromyzidae. In: Die Fliegen der palaearktischen Region. 1931–1936, vol. 6, p. 59, 570 p.
- Nowakowski J.T. Introduction to a systematic revision of the family Agromyzidae (Diptera) with some remarks on host plant selection by these flies. *Annales Zoologici*. 1962, vol. 8, no. 20, pp. 67–183.
- de Jong Y., et al. Fauna Europaea – all European animal species on the web. *Biodiversity Data Journal*, 2014, no. 2, article id: e4034. DOI: 10.3897/BDJ.2.e4034

4. Frick K.E. Revision of the North American *Calycomyza* species North of Mexico *Phytobia*: (Agromyzidae, Diptera). *Annals of the Entomological Society of America*. 1956, vol. 49, pp. 284–300.
5. Steyskal G. C. The identity of *Calycomyza jucunda* (Wulp) (Diptera, Agromyzidae). *Proceedings of the Entomological Society of Washington*. 1973, vol. 75, no. 2, pp. 191–194.
6. Stegmaier C.E. Notes on the biology and distribution of Florida leaf-mining flies of the genus *Phytobia* Lioy, subgenus *Calycomyza* Hendel (Diptera: Agromyzidae). *The Florida Entomologist*, 1967, vol. 50(1), pp. 13–25. <https://doi.org/10.2307/3493202>
7. Hering M.E. *Biology of the Leaf Miners*. Berlin, Springer Publ., 1951, 422 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-7196-8>
8. Lakin G.F. *Biometriya. Uchebnoe posobie dlya biologicheskikh spetsial'nostei vuzov* [Biometry. Textbook for biological specialties of universities]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1990, 352 p. (In Russian)
9. Capinera J.L. *Handbook of vegetable pests. USA*, Academic Press Publ., 2001, pp. 197–207.
10. Bey-Bienko G.Ya., ed. *Opredelitel' nasekomykh evropeiskoi chasti SSSR. Dvukrylye, Blokhi* [Keys to the insects of the European part of the USSR. Diptera, Flea]. St. Petersburg, Nauka Publ., 1970, vol. 5, p. 2, 943 p. (In Russian)
11. Spencer K.A., Steyskal G.C. *Manual of the Agromyzidae (Diptera) of the United States. Agriculture Handbook*. 1986, vol. 638, pp. 140–151.
12. Grigoryan N.M., Hovhannisyan V.S. The first records of the genus *Calycomyza* Hendel (Diptera, Agromyzidae) from the South Caucasus. *Euroasian Entomological Journal*, 2023, vol. 22, no. 2, pp. 81–84. DOI: 10.15298/euroasentj.22.02.05
2. Nowakowski J.T. Introduction to a systematic revision of the family Agromyzidae (Diptera) with some remarks on host plant selection by these flies // *Annales Zoologici*. 1962. V. 8. N 20. P. 67–183.
3. de Jong Y., et al. Fauna Europaea – all European animal species on the web // *Biodiversity Data Journal*. 2014. N 2. Article Id: e4034. DOI: 10.3897/BDJ.2.e4034
4. Frick K.E. Revision of the North American *Calycomyza* species North of Mexico *Phytobia*: (Agromyzidae, Diptera) // *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 1956. V. 49. P. 284–300.
5. Steyskal G.C. The identity of *Calycomyza jucunda* (Wulp) (Diptera, Agromyzidae) // *Ent. Soc. Wash. Proc.* 1973. V. 75. N 2. P. 191–194.
6. Stegmaier C.E. Notes on the biology and distribution of Florida leaf-mining flies of the genus *Phytobia* Lioy, subgenus *Calycomyza* Hendel (Diptera: Agromyzidae) // *The Florida Entomologist*. 1967. V. 50(1). P. 13–25. <https://doi.org/10.2307/3493202>
7. Hering M.E. *Biology of the Leaf Miners*. Berlin: Springer, 1951. 422 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-7196-8>
8. Лакин Г.Ф. Биометрия. Учебное пособие для биологических специальностей вузов. Москва: Высшая школа, 1990. 352 с.
9. Capinera J.L. *Handbook of vegetable pests. USA*: Academic Press, 2001. P. 197–207.
10. Определитель насекомых европейской части СССР. Двукрылые, Блохи. Ред. Бей-Биенко Г.Я. Санкт-Петербург: Наука, 1970. Т. 5. Ч. 2. 943 с.
11. Spencer K.A., Steyskal G.C. *Manual of the Agromyzidae (Diptera) of the United States // Agriculture Handbook*. 1986. V. 638. P. 140–151.
12. Grigoryan N.M., Hovhannisyan V.S. The first records of the genus *Calycomyza* Hendel (Diptera, Agromyzidae) from the South Caucasus // *Euroasian Entomological Journal*. 2023. V. 22. N 2. P. 81–84. DOI:10.15298/euroasentj.22.02.05

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hendel F. Agromyzidae // In: Linder E. *Die Fliegen der palaearktischen Region*. 1931–1936. V. 6. P. 59. 570 p.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Nonna M. Grigoryan collected the material, identified leaf miners and wrote the draft article. Vahram T. Hayrapetyan analysed the data and carried out morphometric measurements. Karine V. Balayan carried out plant recognition. Madina Z. Magomedova and Patimat D. Magomedova participated in the writing of the draft. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Нонна М. Григорян собрала материал, определила минирующих мух и написала черновик. Ваграм Т. Айрапетян проанализировал данные и провел морфометрические измерения. Карине В. Балаян провела идентификацию растений-хозяев. Мадина З. Магомедова и Патимат Д. Магомедова помогли в написании работы. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи, и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ORCID

Nonna M. Grigoryan / Нонна М. Григорян <https://orcid.org/0000-0001-8079-8574>

Karine V. Balayan / Карине В. Балаян <https://orcid.org/0009-0002-7875-1085>

Madina Z. Magomedova / Мадина З. Магомедова <http://orcid.org/0000-0001-8425-1664>

Patimat D. Magomedova / Патимат Д. Магомедова <http://orcid.org/0000-0001-6072-1094>

Vahram T. Hayrapetyan / Ваграм Т. Айрапетян <https://orcid.org/0009-0006-4280-3962>

Оригинальная статья / Original article

УДК:665.613 (547-32)

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-8



Исследование структурных параметров нефтяных кислот и оценка их экологической опасности

Людмила В. Иванова, Ольга А. Стоколос, Элеонора С. Демиденко, Владимир Н. Кошелев

Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, Москва, Россия

Контактное лицо

Людмила В. Иванова, доктор химических наук, профессор, профессор кафедры органической химии и химии нефти РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина; 119991 Россия, г. Москва, Ленинский проспект, д.65, корп.1.

Тел. +74995078411

Email ivanova.l@gubkin.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3288-095X>

Формат цитирования

Иванова Л.В., Стоколос О.А., Демиденко Э.С., Кошелев В.Н. Исследование структурных параметров нефтяных кислот и оценка их экологической опасности // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 1. С. 77-84. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-8

Получена 6 февраля 2023 г.

Прошла рецензирование 17 мая 2023 г.

Принята 25 сентября 2023 г.

Резюме

Исследование структурных параметров нефтяных кислот, выделенных из нефти месторождения Приозерное и оценка их экологической опасности.

Объектом исследования являлись нефтяные кислоты, выделенные из нефти месторождения Приозерное. Исследования проводились с привлечением современных инструментальных методов: ИКС, ЯМР¹³С, ЯМР¹Н, элементный анализ.

Подтверждена окисленность исследуемой нефти. Экстракцией дихлорметаном и последующим анализом органической вытяжки с помощью ИК Фурье-спектроскопии доказано присутствие нефтяных кислот в водной фазе, что представляет серьезную угрозу живым организмам, обитающим в почве и природных водоемах данного региона. Установлены структурные параметры «средних» молекул нефтяных кислот, выделенных методом выщелачивания из трех дистиллятных фракций данной нефти. Установлено, что полученные продукты имеют молекулярную массу 294–574 а.е.м. и содержат от 20 до 40 атомов углерода, большая часть которых входит в состав нафтеновых структур. Наряду с нефтяными кислотами в состав продуктов выщелачивания входят неомыляемые компоненты.

Сравнение структурных параметров «средних» молекул продуктов, выделенных из фракций исследуемой нефти, с данными описанными в научной литературе позволяет квалифицировать кислоты, содержащиеся в нефти месторождения Приозерное, как вещества с повышенной токсичностью, что требует поиска путей решения проблемы обеспечения экологической безопасности данного региона.

Ключевые слова

Нефтяные кислоты, окисленность нефти, нефтепроявления, структура нефтяных кислот, токсичность.

Study of structural parameters of petroleum acids and analysis of their possible negative impact on the environment

Ludmila V. Ivanova, Olga A. Stokolos, Eleonora S. Demidenko and Vladimir N. Koshelev

I.M. Gubkina Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow, Russia

Principal contact

Ludmila V. Ivanova, Professor, Department of Organic Chemistry and Petroleum Chemistry, Gubkin University; 65/1 Leninsky Ave, Moscow, Russia 119991.

Tel. +74995078411

Email ivanova.l@gubkin.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3288-095X>

How to cite this article

Ivanova L.V., Stokolos O.A., Demidenko E.S., Koshelev V.N. Study of structural parameters of petroleum acids and analysis of their possible negative impact on the environment. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(1):77-84. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-8

Received 6 February 2023

Revised 17 May 2023

Accepted 25 September 2023

Abstract

Study of the structural parameters of petroleum acids isolated from oil from the Priozernoye field and analysis of their possible negative impact on the environment.

The object of the study is and naphthenic acids isolated from the oil of the Priozernoye field. The research was carried out using modern instrumental methods: gas-liquid chromatography, IR-spectroscopy, ^{13}C NMR, ^1H NMR spectroscopy and elemental analysis.

The high degree of oxidation of the oil studied was confirmed. Extraction with dichloromethane and subsequent analysis of the organic extract using IR-Fourier spectrometry proved that part of the petroleum acids entered the aqueous phase, which poses a serious threat to the biological diversity of this region. The structural parameters of "medium" molecules of petroleum acids isolated by leaching from three distillate fractions of this oil have been established. It is shown that the products isolated during leaching have a molecular weight of 294–574 amu and contain from 20 to 40 carbon atoms, most of which are part of the naphthenic structures. Along with petroleum acids, leaching products include hydrocarbons.

Comparison of the structural parameters of the products isolated from the fractions of the studied oil with the data in the scientific literature allows us to qualify the acids contained in the oil of the Priozernoye field as being substances with high toxicity, which requires finding ways to solve the problem of ensuring the environmental safety of this region.

Key Words

Naphthenic acids, oil oxidation degree, oil shows, naphthenic acids structure, toxicity.

ВВЕДЕНИЕ

Нефть является одним из серьезных источников загрязнения окружающей среды [1; 2]. Значительный ущерб наносится природным экосистемам как в результате внештатных ситуаций при аварийных разливах на суше и на воде, так и в результате несовершенства технологических процессов обращения с нефтью, например, из-за неудовлетворительной очистки нефтесодержащих сточных вод.

Нефть представляет собой сложную смесь углеводородов и гетероатомсодержащих соединений, которые отличаются по своим физико-химическим свойствам, в том числе, по способности растворяться в воде и, соответственно, обладают разной степенью токсичности по отношению к живым организмам, обитающим в природных водоемах [3]. Одним из классов соединений, обладающих относительно высокой по сравнению с другими компонентами нефти растворимостью в воде, являются нефтяные кислоты, представляющие собой группу многочисленных природных алифатических и циклических карбоновых кислот, содержащихся в средних и тяжелых фракциях нефти. При аварийных разливах нефти данная группа соединений в виде солей попадает в природные водоемы, оказывая отрицательное влияние на живые организмы, обитающие в них. Повышенная концентрация нефтяных кислот обнаруживается в промышленных сточных водах, образующихся при переработке нефтяного сырья и битумозных пород [4], что также приводит к серьезным экологическим последствиям [5].

Учитывая негативное воздействие нефтяных кислот на окружающую среду, важное значение приобретают методы их мониторинга и удаления из нефтезагрязненных вод [6]. В настоящее время разработаны десятки аналитических методов для полуколичественного определения общего содержания нефтяных, в том числе нафтеновых, кислот в пробах воды с применением современных инструментальных методов, таких как ИК-Фурье-спектрометрия [7], масс-спектрометрия [8], включая масс-спектрометрию десорбционной электрораспылительной ионизации [9; 10].

Предложены также различные технологии для удаления нафтеновых кислот из технической воды с использованием различных адсорбентов, например, на основе водонерастворимой поли(β -циклодекстрин-лимонной кислоты) [11], материалов на основе ксерогеля [12], амино-функционализированных наночастиц оксида железа [13].

Для решения задач, связанных с мониторингом содержания нефтяных кислот в загрязненных водоемах и в промышленных сточных водах, а также для разработки эффективных методов их удаления из природных и промышленных объектов необходимо детальное изучение структуры нефтяных кислот. С этой целью широко применяются современные инструментальные методы, такие как ЯМР¹³C и ЯМР¹H-спектрометрия, хромато-масс-спектрометрия и др. [14–18].

Большое количество публикаций, посвященных мониторингу, выделению, удалению нефтяных кислот из природных и промышленных объектов, а также исследованию их компонентного состава и структуры, говорит об актуальности данной задачи. Особенно активно эти вопросы обсуждаются в публикациях,

касающихся крупнейшего месторождения нефтеносных песков на севере провинции Альберта (Канада), где добыча ведется открытым способом с образованием большого количества нефтезагрязненной технологической воды [5; 6; 19]. Однако данная проблема не является локальной и подобные задачи возникают и на других нефтяных месторождениях, в том числе расположенных на территории России. В данной работе исследовались нефтяные кислоты, выделенные из нефти месторождения Приозерное, расположенного на юге Керченского полуострова Республики Крым. Это месторождение законсервировано еще в середине прошлого столетия из-за малых запасов нефти и сложности разработки, но на его территории имеются многочисленные очаги нефтепроявления [20]. Нефть, просачиваясь на поверхность земли, загрязняет почву, растекается по поверхности водоемов, мигрирует в Черное море. Все это ухудшает экологическую обстановку в данном регионе, пагубно влияет на биоразнообразие полуострова [21].

Целью работы являлось исследование структурных параметров нефтяных кислот, выделенных из нефти месторождения Приозерное, и оценка их экологической опасности.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являлись нефтяные кислоты, выделенные из нефти месторождения Приозерное, отобранной с поверхности водоема в местах нефтепроявления. Нефтяные кислоты выделяли методом мокрого выщелачивания из фракций нефти: 270–320 °С, 320–350 °С, 350–400 °С: фракцию обрабатывали водным раствором NaOH в соотношении 1:1 при нагревании (100, 110, 120 °С, в зависимости от фракции) и интенсивном перемешивании в течение 1,5 ч., затем реакционную массу оставляли отстаиваться в термостате при T=70–75 °С и отделяли водный слой, который обрабатывали конц. H₂SO₄ до кислой реакции. Выделившиеся кислоты отделяли, водный слой обрабатывали эфиром, эфирные вытяжки объединяли с фракцией кислот. Эфир упаривали и получали продукт реакции выщелачивания. Молекулярную массу кислот определяли криоскопическим методом. Элементный состав выделенных кислот определяли с использованием CHNS-анализатора Elementar Vario Micro Cube. Спектры ЯМР¹³C и ЯМР¹H получали на приборе ЯМР-спектрометр Jeol «JNM-ECA 600» (Япония) высокого разрешения с рабочей частотой 600 МГц на основе постоянного магнита. ИК-спектры получали на приборе ИК Фурье-спектрометр ФСМ 1201 в интервале волновых чисел 4000÷500 см⁻¹. Определение нефтяных кислот в воде открытых водоемов проводили по методике [7]: образец воды обрабатывали HCl до pH=1,7–2,0, затем проводили экстракцию дихлорметаном CH₂Cl₂, из экстракта удаляли растворитель и полученный продукт анализировали с помощью ИК Фурье-спектрометрии.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Качественный анализ воды из одного из открытых водоемов, расположенных на территории месторождения Приозерное, показал присутствие растворенных в ней солей нефтяных кислот. Из-за малого количества нефтяных кислот, экстрагируемых из нефтезагрязненной воды, для дальнейших исследо-

ваний были использованы кислоты, выделенные непосредственно из нефти, принимая допущение, что структура нефтяных кислот, перешедших в водный слой, будет во-многом идентична структуре кислот, содержащихся в самой нефти.

Обезвоженная нефть была подвергнута ректификации с отбором фракций 270–320 °С, 320–350 °С – при атмосферном давлении и фр. 350–400 °С – под вакуумом. В таблице 1 приведены выход фракций и некоторые их качественные показатели.

Таблица 1. Характеристика фракций, полученных из нефти

Table 1. Characterization of fractions obtained from oil

Фракции, °С Fractions, °C	Выход, % (мас.) Yield, % (mass.)	Плотность, г/см ³ Density, g/cm ³	Кислотное число, мгКОН/г Acid Number, mg KOH/g
270–320	8,8	0,897	4,17
320–350	21,47	0,923	6,84
350–400	21,65	0,938	8,20

Как видно из таблицы 1 выход фракций, потенциально содержащих нефтяные кислоты, довольно высок и составляет порядка 52 %. Кислотное число полученных фракций возрастает с повышением температуры выкипания фракции и подтверждает присутствие «кислых» компонентов в их составе.

Выделение кислот из фракций осуществляли методом мокрого выщелачивания, условия проведения процесса и характеристика полученных продуктов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Условия выделения и характеристика полученных продуктов

Table 2. Conditions for isolation and characterisation of the obtained products

Фракции, °С Fractions, °C	Условия выщелачивания Conditions of acids leaching		Характеристика продуктов Characteristics of the products		
	Концентрация раствора NaOH, % Concentration of NaOH, %	Температура, °С Temperature, °C	Выход на фракцию, % Yield relative to fraction, %	КЧ, мгКОН/г Acid Number, mg KOH/g	M _{ср} Molecular mass
270–320	6	100	2,4	132,4	294
320–350	4	110	3,3	143,9	387
350–400	2,5	120	2,2	191,0	574

Наблюдаемое увеличение молекулярной массы продуктов выщелачивания с ростом пределов выкипания дистиллятных фракций указывает на постепенное усложнение строения молекул кислот. В дальнейшем для продуктов, полученных при выщелачивании дистиллятных фракций, был определен их элементный состав, получены ЯМР¹³C и ЯМР¹H спектры, на основе которых проведены расчеты структурных параметров усредненных молекул нефтяных кислот, выделенных из каждой исследуемой фракции (табл. 3).

Из результатов, представленных в таблице 3, можно сделать вывод, что наряду с нефтяными кислотами при выбранных условиях выщелачивания выделяется заметное количество неомыляемых компонентов. На это указывает число атомов кислорода в «средней» молекуле, которое менее 2, что недостаточно для карбоксильной группы.

Наличие неомыляемых компонентов в составе выделенных при выщелачивании продуктов можно объяснить тем, что нефтяные кислоты проявляют свойства поверхностно-активных веществ благодаря гидрофильной карбоксильной группе и гидрофобного углеводородного радикала и за счет этого могут способствовать коллоидной растворимости других органических соединений, входящих в состав нефти, что подтверждается исследованием экстрактов нефтезаг-

рязненных вод [22]. При этом органические вещества, экстрагируемые совместно с нефтяными кислотами, могут оказывать более сильное токсическое воздействие на живые организмы, чем сами кислоты [23]. Структурные параметры «средней» молекулы продуктов, выделенных из каждой из исследуемых фракций, отражают строение углеводородного скелета как кислот, так и других органических соединений, извлекаемых совместно в процессе выщелачивания.

Из данных таблицы 3 следует, что в состав «средней» молекулы продуктов выщелачивания первых двух фракций входит до 3-х нафтеновых колец. В средней молекуле продуктов выщелачивания третьей фракции появляются дополнительно 1–2 ароматических кольца, что характерно для кислот смешанного строения. При исследовании влияния различных фракций нефтяных кислот на личинки рыб установлено, что ароматические кислоты с более высокой молекулярной массой несколько более токсичны по сравнению с алициклическими [24]. Боковые заместители в циклических структурах, вероятно, представлены относительно короткими цепями, поскольку основная доля атомов углерода, входящего в насыщенные структуры, сконцентрирована в нафтеновых кольцах. При этом с увеличением молекулярной массы «средней» молекулы доля углерода в боковых заместителях несколько возрастает.

Таблица 3. Структурные параметры «средней молекулы» продуктов, полученных при выщелачивании дистиллятных фракций**Table 3.** Structural parameters of the “middle molecule” of products obtained by leaching distillate fractions

Показатели Index	Пределы кипения фракции, °С Boiling range of fractions, °C		
	270–320	320–350	350–400
Содержание, % / Content, %:			
углерода / carbon	85,06	85,68	85,71
водорода / hydrogen	11,92	11,66	11,35
кислорода / oxygen	3,02	2,66	2,94
Эмпирическая формула / Gross formula	C _{20,8} H _{35,0} O _{0,6}	C _{27,6} H _{45,1} O _{0,7}	C _{41,0} H _{65,1} O _{1,1}
Число атомов С в ароматических структурах, C _{ар} Number of C atoms in aromatic structures, C _{ar}	3,13	6,08	11,48
Число атомов Н в ароматических структурах, H _{ар} Number of H atoms in aromatic structures, H _{ar}	4,22	5,43	6,76
Число атомов С в насыщенных структурах, C _{нас} Number of C atoms in saturated structures, C _{ar}	17,71	21,55	29,52
Число атомов Н в насыщенных структурах, H _{нас} Number of H atoms in saturated structures, H _{sat}	31,0	40,1	59,0
Общее число колец, K _о Number of rings, R _o	2,75	3,03	3,68
Число ароматических колец, K _{ар} Number of aromatic rings, R _{ar}	0,05	0,08	1,65
Число нафthenовых колец, K _н Number of naphthenic rings, R _n	2,70	2,95	2,04

Многочисленными исследованиями состава загрязняющих компонентов, содержащихся в промышленных сточных водах при разработке битумозных песков месторождения Атабаска в северной провинции Альберта (Канада), показано, что структурные характеристики молекул загрязняющих веществ, содержащихся в промышленных водах, влияют на их биоразлагаемость. Установлено, что би- и полициклические нафthenовые кислоты менее подвержены биоразложению, чем линейные и моноциклические [25], при этом полициклические кислоты, содержащие в своем составе дополнительно ароматическое кольцо, представляют наибольшую опасность для различных представителей биоты, включая рыб и млекопитающих [26; 27]. Результаты исследования влияния нефтяных кислот на организм млекопитающих показали, что потенциальным органом-мишенью является печень. Установлено, что относительная масса печени у особей, которые получали высокую дозу смеси нафthenовых кислот (300 мг/кг массы тела), была на 35 % выше, чем в контрольной группе [28].

Таким образом, можно констатировать, что нефтяные (нафthenовые и смешанного строения) кислоты, содержащиеся в нефти месторождения Приозерное, при попадании в водоемы и в почву в местах неконтролируемого нефтепроявления наносят серьезный экологический ущерб окружающей среде данного региона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нефтяные кислоты, являясь поверхностно-активными веществами, способны растворяться в воде в форме солей различных щелочных и щелочно-земельных металлов. Попадание нефтяных кислот в окружающую среду представляет серьезную угрозу для биоты, обитающей в водной среде и в гумусовом слое почвы, поскольку они обладают выраженной токсичностью по отношению к живым организмам. Уровень токсичности

нефтяных кислот зависит от их структурных параметров и возрастает с увеличением цикличности и включением ароматических структур. Нафthenовые и смешанного строения кислоты, содержащиеся в нефти месторождения Приозерное, являются потенциальными токсикантами для живых организмов, обитающих в местных водоемах и в почве. Изучение структуры кислот, содержащихся в данной нефти и в других окисленной нефти, может способствовать разработке аналитических методов для их мониторинга в природных объектах, а также поиску эффективных способов очистки нефтезагрязненных вод и почвы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Avalbaev G., Kadirov Sh. Oil pollution problems // Universum: технические науки. 2021. Вып. 11(92). Ч. 6. С. 72–74. <https://doi.org/10.32743/UniTech.2021.92.11>
2. Khartukov E.M. Oil pollution and oil clean-up in Russia and the world // Евразийское пространство: экономика, право, общество. 2021. N 2. С. 42–49.
3. Абдусаматов А.С., Панарин А.П., Магомедов А.К., Коваленко Л.Д., Гусейнова Б.Р., Дохтукаева А.М., Дудурханова Л.А. Растворимость и деструкция нефти в морской воде // Юг России: экология, развитие. 2012. Т. 7. N 1. С. 165–166. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2012-1-165-166>
4. Wu C., De Visschera A., Gates I.D. On naphthenic acids removal from crude oil and oil sands process-affected water // Fuel. 2019. V. 253. N 10. P. 1229–1246. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.05.091>
5. Bauer A.E., Hewitt L.M., Parrott J.L., Frank R.A. The toxicity of organic fractions from aged oil sands process-affected water to aquatic species // Science of The Total Environment. 2019. V. 669. N 6. P. 702–710. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.107>
6. Wu C., De Visscher A., Gates I.D. On naphthenic acids removal from crude oil and oil sands process-affected

- water // *Fuel*. 2019. V. 253. N 10. P. 1229–1246. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.05.091>
7. Ripmeester M.J., Duford D.A. Method for routine «naphthenic acids fraction compounds» determination in oil sands process-affected water by liquid-liquid extraction in dichloromethane and Fourier-Transform Infrared Spectroscopy // *Chemosphere*. 2019. V. 233. P. 687–696. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.222>
8. Kovalchik K.A., MacLennan M.S., Peru K.M., Headley J.V., Chen D.D.Y. Standard method design considerations for semi-quantification of total naphthenic acids in oil sands process affected water by mass spectrometry: A review // *Frontiers of Chemical Science and Engineering*. 2017. V. 11. N 3. P. 497–507. <https://doi.org/10.1007/s11705-017-1652-0>
9. Colati K.A.P., Dalmaschio G.P., De Castro E.V.R., Gomes A.O., Vaz B.G., Romão W. Monitoring the liquid/liquid extraction of naphthenic acids in brazilian crude oil using electrospray ionization FT-ICR mass spectrometry (ESI FT-ICR MS) // *Fuel*. 2013. V. 108. N 6. P. 647–655. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.02.007>
10. Peru K.M., Thomas M.J., Palacio Lozano D.C., Headley J.V., Barrow M.P. Characterization of oil sands naphthenic acids by negative-ion electrospray ionization mass spectrometry: Influence of acidic versus basic transfer solvent // *Chemosphere*. 2019. V. 222. N 5. P. 1017–1024. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.162>
11. Liang H., Zou C. Adsorption of naphthenic acids from oil sand process-affected water with water-insoluble poly (β -cyclodextrin-citric acid) // *Canadian Journal of Chemical Engineering*. 2019. V. 97. N 6. P. 1894–1902. <https://doi.org/10.1002/cjce.23452>
12. Benally C., Messele S.A., Gamal El-Din M. Adsorption of organic matter in oil sands process water (OSPW) by carbon xerogel // *Water Research*. 2019. V. 154. N 5. P. 402–411. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.01.053>
13. Simonsen G., Strand M., Norrman J., Øye G. Amino-functionalized iron oxide nanoparticles designed for adsorption of naphthenic acids // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2019. V. 568. N 5. P. 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.02.010>
14. Петросян В.С., Яшина Н.С., Богдашкина В.И. Применение ЯМР Н(1) и С(13) для анализа состава нефти // *Нефтехимия*. 1979. Т. 19. С. 74–83.
15. Петросян В.С., Богдашкина В.И., Демьянов П.И., Лебедев А.Т., Хименес М.П., Яшина Н.С. Физико-химический анализ органических токсикантов в природных водах // *Успехи химии*. 1990. Т. 60. С. 661–666.
16. Rowland S.J., West C.E., Scarlett A.G., Kwong L., Tonkin A. Monocyclic and monoaromatic naphthenic acids: Synthesis and characterization // *Environmental Chemistry Letters*. 2011. V. 9. N 4. P. 525–533. <https://doi.org/10.1007/s10311-011-0314-6>
17. West C.E., Scarlett A.G., Pureveen J., Tegelaar E.W., Rowland S.J. Abundant naphthenic acids in oil sands process-affected water: Studies by synthesis, derivatisation and two-dimensional gas chromatography/high-resolution mass spectrometry // *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 2013. V. 27. N 2. P. 357–365. <https://doi.org/10.1002/rcm.6452>
18. Wilde M.J., West C.E., Scarlett A.G., Hewitt L.M., Rowland S.J. Bicyclic naphthenic acids in oil sands process water: Identification by comprehensive multidimensional gas chromatography-mass spectrometry // *Journal of Chromatography A*. 2015. V. 1378. N 1. P. 74–87. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2014.12.008>
19. Brown L.D., Ulrich A.C. Oil sands naphthenic acids: A review of properties, measurement, and treatment // *Chemosphere*. 2015. V. 127. N 5. P. 276–290. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.02.003>
20. Каюкова Е.П., Юровский Ю.Г. Нефтепроявления у озера Тобечик (Керченский полуостров, Крым) // *Труды Крымской Академии наук*. 2017. С. 63–76.
21. Бочарников А.А. Влияние нефтяных месторождений на экологическое состояние ландшафтов Юго-восточной части Керченского полуострова // В сборнике: *Актуальные проблемы биоразнообразия и природопользования. Материалы II Национальной научно-практической конференции, посвященной 20-летию кафедры экологии моря ФГБОУ ВО «КГМТУ»*, 2019. С. 287–292.
22. Headley J.V., Peru K.M., Fahlman B., Colodey A., McMartin D.W.. Selective solvent extraction and characterization of the acid extractable fraction of Athabasca oils sands process waters by Orbitrap mass spectrometry // *International Journal of Mass Spectrometry*. 2013. V. 345–347. P. 104–108. <https://doi.org/10.1016/j.ijms.2012.08.023>
23. Hagen M.O., Katzenback B.A., Islam M.D.S., Gamal El-Din M., Belosevic M. The analysis of goldfish (*Carassius auratus* L.) innate immune responses after acute and subchronic exposures to oil sands process-affected water // *Toxicological Sciences*. 2014. V. 138. N 11. P. 59–68. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kft272>
24. Scarlett A.G., Reinardy H.C., Henry T.B., West C.E., Frank R.A., Hewitt L.M., Rowland S.J. Acute toxicity of aromatic and non-aromatic fractions of naphthenic acids extracted from oil sands process-affected water to larval zebrafish // *Chemosphere*. 2013. V. 93. N 2. P. 415–420. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.05.020>
25. Toor N.S., Han X., Franz E., MacKinnon M.D., Martin J.W., Liber K. Selective biodegradation of naphthenic acids and a probable link between mixture profiles and aquatic toxicity // *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2013. V. 32. N 10. P. 2207–2216. <https://doi.org/10.1002/etc.2295>
26. Scarlett A.G., West C.E., Jones D., Galloway T.S., Rowland S.J. Predicted toxicity of naphthenic acids present in oil sands process-affected waters to a range of environmental and human endpoints // *Science of The Total Environment*. 2012. V. 425. N 5. P. 119–127. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.02.064>
27. van den Heuvel M.R, Hogan N.S, MacDonald G.Z., Berrue F., Young R.F., Arens C.J, Kerr R.G., Fedorak P.M. Assessing accumulation and biliary excretion of naphthenic acids in yellow perch exposed to oil sands-affected waters // *Chemosphere*. 2014. V. 95. N 1. P. 619–627. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.10.021>
28. Rogers V.V., Wickstrom M., Liber K., MacKinnon M.D. Acute and subchronic mammalian toxicity of naphthenic acids from oil sands tailings // *Toxicological Sciences*. 2002. V. 66. N 4. P. 347–355. <https://doi.org/10.1093/toxsci/66.2.347>

REFERENCES

1. Avalbaev G., Kadirov Sh. Oil pollution problems. *Universum: technical science*. 2021, Iss. 11(92), p. 6, pp. 72–74. <https://doi.org/10.32743/UniTech.2021.92.11>
2. Khartukov E.M. Oil pollution and oil clean-up in Russia and the world. *Evraziiskoe prostranstvo: ekonomika, pravo,*

- obshchestvo [Eurasian space: economics, law, society]. 2021, no. 2, pp. 42–49.
3. Abdusamadov A.S., Panarin A.P., Magomedov A.K., Kovalenko L.D., Guseinova B.R., Dokhtukaeva A.M., Dudurkhanova L.A. Solubility and degradation of oil in seawater. *South of Russia: ecology, development*, 2012, vol. 7, no. 1, pp. 165–166. (In Russian)
<https://doi.org/10.18470/1992-1098-2012-1-165-166>
4. Wu C., De Visschera A., Gates I.D. On naphthenic acids removal from crude oil and oil sands process-affected water. *Fuel*, 2019, vol. 253, no. 10, pp. 1229–1246.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.05.091>
5. Bauer A.E., Hewitt L.M., Parrott J.L., Frank R.A. The toxicity of organic fractions from aged oil sands process-affected water to aquatic species. *Science of The Total Environment*, 2019, vol. 669, no. 6, pp. 702–710.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.107>
6. Wu C., De Visscher A., Gates I.D. On naphthenic acids removal from crude oil and oil sands process-affected water. *Fuel*, 2019, vol. 253, no. 10, pp. 1229–1246.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.05.091>
7. Ripmeester M.J., Duford D.A. Method for routine «naphthenic acids fraction compounds» determination in oil sands process-affected water by liquid-liquid extraction in dichloromethane and Fourier-Transform Infrared Spectroscopy. *Chemosphere*, 2019, vol. 233, pp. 687–696.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.222>
8. Kovalchik K.A., MacLennan M.S., Peru K.M., Headley J.V., Chen D.D.Y. Standard method design considerations for semi-quantification of total naphthenic acids in oil sands process affected water by mass spectrometry: A review. *Frontiers of Chemical Science and Engineering*, 2017, vol. 11, no. 3, pp. 497–507. <https://doi.org/10.1007/s11705-017-1652-0>
9. Colati K.A.P., Dalmaschio G.P., De Castro E.V.R., Gomes A.O., Vaz B.G., Romão W. Monitoring the liquid/liquid extraction of naphthenic acids in brazilian crude oil using electrospray ionization FT-ICR mass spectrometry (ESI FT-ICR MS). *Fuel*, 2013, vol. 108, no. 6, pp. 647–655.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.02.007>
10. Peru K.M., Thomas M.J., Palacio Lozano D.C., Headley J.V., Barrow M.P. Characterization of oil sands naphthenic acids by negative-ion electrospray ionization mass spectrometry: Influence of acidic versus basic transfer solvent. *Chemosphere*, 2019, vol. 222, no. 5, pp. 1017–1024. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.162>
11. Liang H., Zou C. Adsorption of naphthenic acids from oil sand process-affected water with water-insoluble poly (β -cyclodextrin-citric acid). *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 2019, vol. 97, no. 6, pp. 1894–1902.
<https://doi.org/10.1002/cjce.23452>
12. Benally C., Messele S.A., Gamal El-Din M. Adsorption of organic matter in oil sands process water (OSPW) by carbon xerogel. *Water Research*, 2019, vol. 154, no. 5, pp. 402–411. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.01.053>
13. Simonsen G., Strand M., Norrman J., Øye G. Amino-functionalized iron oxide nanoparticles designed for adsorption of naphthenic acids. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2019, vol. 568, no. 5, pp. 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.02.010>
14. Petrosyan V.S., Yashina N.S., Bogdashkina V.I. Application of H(1) and C(13) NMR to analyze the composition of oil. *Neftekhimiya [Petrochemistry]*. 1979, vol. 19, pp. 74–83. (In Russian)
15. Petrosyan V.S., Bogdashkina V.I., Dem'yanov P.I., Lebedev A.T., Khimenes M.P., Yashina N.S. Physicochemical analysis of organic toxicants in natural waters. *Uspekhi khimii [Advances in chemistry]*. 1990, vol. 60, pp. 661–666. (In Russian)
16. Rowland S.J., West C.E., Scarlett A.G., Kwong L., Tonkin A. Monocyclic and monoaromatic naphthenic acids: Synthesis and characterization. *Environmental Chemistry Letters*, 2011, vol. 9, no. 4, pp. 525–533. <https://doi.org/10.1007/s10311-011-0314-6>
17. West C.E., Scarlett A.G., Pureveen J., Tegelaar E.W., Rowland S.J. Abundant naphthenic acids in oil sands process-affected water: Studies by synthesis, derivatisation and two-dimensional gas chromatography/high-resolution mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 2013, vol. 27, no. 2, pp. 357–365.
<https://doi.org/10.1002/rcm.6452>
18. Wilde M.J., West C.E., Scarlett A.G., Hewitt L.M., Rowland S.J. Bicyclic naphthenic acids in oil sands process water: Identification by comprehensive multidimensional gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 2015, vol. 1378, no. 1, pp. 74–87.
<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2014.12.008>
19. Brown L.D., Ulrich A.C. Oil sands naphthenic acids: A review of properties, measurement, and treatment. *Chemosphere*, 2015, vol. 127, no. 5, pp. 276–290.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.02.003>
20. Kayukova E.P., Yurovskii Yu.G. Oil shows near Lake Tobechik (Kerch Peninsula, Crimea). In: *Trudy Krymskoi Akademii nauk [Proceedings of the Crimean Academy of Sciences]*. 2017, pp. 63–76. (In Russian)
21. Bocharnikov A.A. Vliyanie neftnykh mestorozhdenii na ekologicheskoe sostoyanie landshaftov Yugo-vostochnoi chasti Kerchenskogo poluostrova [The influence of oil fields on the ecological state of the landscapes of the South-Eastern part of the Kerch Peninsula]. *Materialy II Natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 20-letiyu kafedry ekologii morya FGBOU VO «KGMTU», 2019 [Materials of the II National Scientific and Practical Conference dedicated to the 20th anniversary of the Department of Marine Ecology of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "KSMTU", 2019]*. 2019, P. 287–292. (In Russian)
22. Headley J.V., Peru K.M., Fahlman B., Colodey A., McMartin D.W.. Selective solvent extraction and characterization of the acid extractable fraction of Athabasca oils sands process waters by Orbitrap mass spectrometry. *International Journal of Mass Spectrometry*, 2013, vol. 345–347, pp. 104–108.
<https://doi.org/10.1016/j.ijms.2012.08.023>
23. Hagen M.O., Katzenback B.A., Islam M.D.S., Gamal El-Din M., Belosevic M. The analysis of goldfish (*Carassius auratus* L.) innate immune responses after acute and subchronic exposures to oil sands process-affected water. *Toxicological Sciences*, 2014, vol. 138, no. 11, pp. 59–68.
<https://doi.org/10.1093/toxsci/kft272>
24. Scarlett A.G., Reinardy H.C., Henry T.B., West C.E., Frank R.A., Hewitt L.M., Rowland S.J. Acute toxicity of aromatic and non-aromatic fractions of naphthenic acids extracted from oil sands process-affected water to larval zebrafish. *Chemosphere*, 2013, vol. 93, no. 2, pp. 415–420.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.05.020>
25. Toor N.S., Han X., Franz E., MacKinnon M.D., Martin J.W., Liber K. Selective biodegradation of naphthenic acids and a probable link between mixture profiles and aquatic toxicity. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2013,

vol. 32, no. 10, pp. 2207–2216.

<https://doi.org/10.1002/etc.2295>

26. Scarlett A.G., West C.E., Jones D., Galloway T.S., Rowland S.J. Predicted toxicity of naphthenic acids present in oil sands process-affected waters to a range of environmental and human endpoints. *Science of The Total Environment*, 2012, vol. 425, no. 5, pp. 119–127.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.02.064>

27. van den Heuvel M.R., Hogan N.S., MacDonald G.Z., Berrue F., Young R.F., Arens C.J., Kerr R.G., Fedorak P.M.

Assessing accumulation and biliary excretion of naphthenic acids in yellow perch exposed to oil sands-affected waters.

Chemosphere, 2014, vol. 95, no. 1, pp. 619–627.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.10.021>

28. Rogers V.V., Wickstrom M., Liber K., MacKinnon M.D. Acute and subchronic mammalian toxicity of naphthenic acids from oil sands tailings. *Toxicological Sciences*, 2002, vol. 66, no. 4, pp. 347–355.

<https://doi.org/10.1093/toxsci/66.2.347>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Людмила В. Иванова проанализировала данные, подготовила рукопись. Ольга А. Стоколос и Элеонора С. Демиденко получили и обработали экспериментальные данные. Владимир Н. Кошелев проводил общее руководство постановкой исследования. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Ludmila V. Ivanova undertook data analysis and manuscript preparation. Olga A. Stokolos and Eleonora S. Demidenko conducted experimentation. Vladimir N. Koshelev undertook general supervision of the study design. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Людмила В. Иванова / Ludmila V. Ivanova <https://orcid.org/0000-0002-3288-095X>;

Ольга А. Стоколос / Olga A. Stokolos <https://orcid.org/0000-0003-2284-6843>

Элеонора С. Демиденко / Eleonora S. Demidenko <https://orcid.org/0009-0004-1010-9584>

Владимир Н. Кошелев / Vladimir N. Koshelev <https://orcid.org/0000-0001-5755-5291>

Оригинальная статья / Original article

УДК 57.044-574.24-599-577.1

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-9



Влияние новосинтезированных теллурсодержащих цианиновых красителей на интенсивность оксидативных процессов в организме млекопитающих

Ашура И. Исрапилова¹, Альбина М. Джафарова², Айна А. Адиева¹, Гасан М. Абакаров³,
Надира О. Гусейнова², Ума Ю. Халимбекова⁴, Мария Д. Астаева², Керим С. Бекшоков²

¹Прикаспийский институт биологических ресурсов ДФИЦ РАН, Махачкала, Россия

²Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

³Дагестанский государственный технический университет, Махачкала, Россия

⁴Дагестанский государственный медицинский университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Айна А. Адиева, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии животных ПИБР ДФИЦ РАН; 367000 Россия, г. Махачкала, ул. Гаджиева, 45.

Тел. +79883005534

Email adieva-m@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8868-4782>

Формат цитирования

Исрапилова А.И., Джафарова А.М., Адиева А.А., Абакаров Г.М., Гусейнова Н.О., Халимбекова У.Ю., Астаева М.Д., Бекшоков К.С. Влияние новосинтезированных теллурсодержащих цианиновых красителей на интенсивность оксидативных процессов в организме млекопитающих // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 1. С. 85-94. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-9

Получена 12 ноября 2023 г.

Прошла рецензирование 21 декабря 2023 г.

Принята 15 января 2024 г.

Резюме

Целью данной работы явилось исследование влияния новых синтезированных теллуруорганических соединений (ТОС) на показатели интенсивности окислительных процессов в организме млекопитающих – крови и печени крыс.

Эксперименты были выполнены на белых беспородных крысах, которым однократно вводили различные производные ТОС (0,01 г/кг). На следующие сутки животных декапитуировали, собирали кровь и выделяли печень. В плазме крови, эритроцитах и гомогенате печени определяли содержание продуктов окислительной модификации липидов и белков, а также низкомолекулярного антиоксиданта – глутатиона.

Обнаружено, что все исследованные производные ТОС существенно увеличивают интенсивность перекисного окисления липидов в эритроцитах и гепатоцитах, о чем свидетельствует многократное повышение в них концентрации малонового диальдегида (МДА). При этом ТОС подавляют уровни окислительных повреждений белков печени, что выражается в существенном снижении содержания в них карбонильных групп. Исследование содержания глутатиона в эритроцитах крыс показало отсутствие каких-либо существенных эффектов ТОС на данный антиоксидант в эритроцитах, однако в печени обнаружены изменения его концентрации, которые зависят от природы ТОС (для ТОС1 и ТОС3 снижение, а для ТОС2 – незначительное повышение).

Таким образом, новосинтезированные ТОС демонстрируют выраженные прооксидантные свойства, значительно повышая интенсивность окислительных процессов в липидах, что делает их перспективными средствами противобактериальной, противовирусной и противоопухолевой терапии.

Ключевые слова

Теллуруорганические соединения, малоновый диальдегид, карбонильные группы, глутатион, оксидативные процессы, ткани, крысы, млекопитающие.

The influence of newly synthesized tellurium-containing cyanine dyes on the intensity of oxidative processes in the bodies of mammals

Ashura I. Israpilova¹, Albina M. Dzhafarova², Aina A. Adieva¹, Gasan M. Abakarov³, Nadira O. Guseynova², Uma Y. Khalimbekova⁴, Maria D. Astaeva² and Kerim S. Bekshokov²

¹Precaspian Institute of Biological Resources, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

²Dagestan State University, Makhachkala, Russia

³Dagestan State Technical University, Makhachkala, Russia

⁴Dagestan State Medical University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Aina A. Adieva, Doctor of Biological Sciences, Professor & Leading Researcher, Animal Ecology Laboratory, Precaspian Institute of Biological Resources, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences; 45 Gadzhiev St, Makhachkala, Russia 367000.

Tel. +79883005534

Email adieva-m@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8868-4782>

How to cite this article

Israpilova A.I., Dzhafarova A.M., Adieva A.A., Abakarov G.M., Guseynova N.O., Khalimbekova U.Y., Astaeva M.D., Bekshokov K.S. The influence of newly synthesized tellurium-containing cyanine dyes on the intensity of oxidative processes in the bodies of mammals. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(1):85-94. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-9

Received 12 November 2023

Revised 21 December 2023

Accepted 15 January 2024

Abstract

The purpose of this work was to study the influence of new synthesized organotellurium compounds (TOCs) on the intensity of oxidative processes in the body of mammals – in this case, the blood and liver of rats.

The experiments were performed on white outbred rats, which were given a single dose of various TOC derivatives (0.01 g/kg). The next day, the animals were decapitated, blood was collected and the liver was isolated. The content of products of oxidative modification of lipids and proteins, as well as the low molecular weight antioxidant glutathione, was determined in blood plasma, erythrocytes and liver homogenate.

It was found that all TOC derivatives studied significantly increase the intensity of lipid peroxidation in erythrocytes and hepatocytes, as evidenced by a multiple increase in the concentration of malondialdehyde (MDA) in them. At the same time, TOC suppresses the levels of oxidative damage to liver proteins, which is expressed in a significant decrease in the content of carbonyl groups. A study of glutathione content in the rat erythrocytes showed the absence of any significant effects of TOS on this antioxidant in erythrocytes.

However, changes in its concentration were found in the liver, which depend on the nature of TOS (for TOS1 and TOS3 a decrease and for TOS2 a slight increase). Newly synthesized TOC demonstrate pronounced pro-oxidant properties, significantly increasing the intensity of oxidative processes in lipids, which makes them promising agents for antibacterial, antiviral and antitumor therapy.

Key Words

Organotellurium compounds, malondialdehyde, carbonyl groups, glutathione, oxidative processes, tissues, mammals, rats.

ВВЕДЕНИЕ

Рост народонаселения и повышение качества жизни требует консолидации самых современных методов синтетической химии, клеточной биологии и биотехнологии для обеспечения населения пищевыми продуктами высокого качества, в том числе за счет внешнего товарного вида. Для восстановления натурального цвета при производстве пищевых продуктов требуется применение пищевых красителей, которые классифицируют на натуральные, идентичные натуральным и синтетические. Натуральные красители имеют наивысший уровень биобезопасности и в ряде случаев даже полезны для человека, за счет содержания натуральных пигментов, витаминов и других биологически активных соединений. В тоже время, такие красители имеют небольшой срок годности, так как быстрее разрушаются от воздействия ультрафиолета, кислорода и нагревания.

К синтетическим относят красители, не встречающиеся в природных источниках. Их номенклатура в современной пищевой химии очень велика, относительно дешева, при этом синтетические красители отличаются большей насыщенностью и стабильностью. В то же время эти красители могут быть потенциально токсичными, проявляя иногда тератогенные и канцерогенные свойства, в том числе и за счет примесей, остающихся после их производства.

Известны случаи, когда синтетические красители переходили из категории разрешенных в категорию запрещенных, так как более подробные и массовые испытания выявляли нежелательные эффекты для человека [1]. Таким образом, изучение биологических свойств и эффектов вновь синтезированных веществ, которые могут быть использованы в качестве красителей представляет актуальную задачу.

Интерес для применения могут представлять новые цианиновые красители, относящиеся к группе теллурорганических соединений (ТОС). Биохимия ТОС в последнее время вызывает большой интерес, но в меньшей степени, чем химия других халькогенорганических соединений – производных кислорода, серы и селена [2]. Ранее теллурсодержащие вещества изучались только токсикологами. Новые исследования органических соединений, содержащие теллур, свидетельствуют о перспективах их применения в медицине и фармацевтике. Например, показана иммуномодулирующая активность трихлор (диоксоэтилен-0,0') теллурата аммония (препарат AS-101) [3]. Это же вещество проявляет бактерицидные свойства, антиоксидантную активность, модулирует противовоспалительные процессы, предотвращает апоптоз, защищает от вызванной химиотерапией токсичности [4].

Известны теллурсодержащие соединения, обладающие биологической активностью и имеющие все предпосылки стать новыми красителями или фармацевтическими препаратами [5]. Разнообразие биологических свойств синтезированных ТОС обусловлено разнообразием функциональных групп органической части молекул. На биологический эффект влияет как размер молекулы, пространственное расположение различных заместителей и радикалов, межатомные связи; пространственная конфигурация, а в циклических системах – группы расположенные

экваториально (в плоскости кольца) и аксиально (перпендикулярно) [6–8].

В лаборатории кафедры химии ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет» были синтезированы новые ТОС, биологические эффекты которых практически не изучены. Потенциально они могут обладать как прооксидантными, так и антиоксидантными свойствами, инициируя *in vivo* оксидативный стресс или подавляя его.

Целью данной работы явилось исследование влияния новых синтезированных теллурсодержащих веществ на показатели интенсивности окислительных процессов в крови и печени крыс.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты исследования и постановка эксперимента

Опыты выполнены на самцах и самках белых беспородных крыс, содержащихся в стандартных условиях вивария Дагестанского государственного университета. Эксперименты выполнены с соблюдением Приказа Минздрава России № 199н от 01.04.2016 г. («Правила надлежащей лабораторной практики») [9]. Все процедуры, проводимые с животными, соответствовали этическим стандартам, утвержденным правовыми актами РФ, принципам Базельской декларации и рекомендациям. Во избежание суточных колебаний на результаты экспериментов, опыты проводили в одно и то же время дня. Животных делили на 6 групп по 6–8 животных в каждой: 1 группа – контрольные интактные крысы; 2 группа – животные с введением для растворителя; 3, 4, 5 и 6 группы – опытные животных, каждой из которых вводили следующие новосинтезированные ТОС:

- а) (2-бензотеллуразолил) – 2-(4-метоксифенил)этен (ТОС1),
- б) (2-бензотеллуразолил) – 2-(4-эпоксифенил)этен (ТОС2),
- в) (3-метилбензотеллуразол-2) (ТОС3),
- г) [3-метилбензотеллуразол-2] (1-метилхинолин-2) триметилцианидид (ТОС4).

Строение синтезированных соединений доказано данными элементного анализа и данными ЯМР исследований, которые приведены в статье [10].

Введение ТОС осуществляли внутривенно из расчета 0,01 г/кг, используя в качестве растворителя фармакопейный препарат диметилсульфоксид (ДМСО). Для того, чтобы учесть все возможные эффекты растворителя, 2-й группе животных вводили эквивалентные объемы ДМСО. На следующие сутки после введения животных декапитировали, кровь собирали в пробирки с антикоагулянтом и выделяли печень, которую сразу же промывали и помещали в ледяную среду выделения. Кровь центрифугировали 15 минут при 3000 об/мин на центрифуге MPW-360 (ротор CM-110, Россия) для получения плазмы крови. Печень измельчали, пропускали через пресс и готовили 10 % гомогенат в среде выделения, после чего центрифугировали в течение 10 минут при 3000g на центрифуге MPW-360 (ротор CM-110, Россия).

Определение содержания белка в плазме крови

Определение содержания белка в крови и гомогенатах печени производили биуретовым методом [11].

Определение концентрации малонового диальдегида

Определение содержания малонового диальдегида (МДА) проводили по оптической плотности триметинового комплекса, имеющего максимум поглощения при 532 нм, который образуется в кислой среде в реакции малонового диальдегида с 2-тиобарбитуровой кислотой на спектрофотометре СФ-46. Одновременно с опытными пробами готовили контрольную пробу, куда вместо крови вносили воду.

Расчет содержания МДА производили по формуле 1:

$$МДА = \frac{\Delta E \cdot 10^6 \cdot 0,0041}{1,56 \cdot 10^5 \cdot C} \quad (1),$$

где $\Delta E = E_{532} - E_{560}$; 0,0041 – объем пробы; C – содержание белка в пробе, $1,56 \cdot 10^5 \text{ л} \cdot \text{М}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ – коэффициент молярной экстинкции ТБК-регирующих продуктов.

Определение окислительной модификации белков

Содержание карбонильных групп в белках митохондрий определяли по реакции их с 2,4-динитрофенилгидразином [11] с образованием 2,4-динитрофенилгидразонов, имеющих максимум поглощения около 370 нм. Расчет производили с использованием коэффициента молярной экстинкции $22000 \text{ (М/л)}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ в нмолях на 1 мг белка.

Концентрацию карбонильных групп рассчитывали по формуле 2:

$$X = \frac{E \cdot 10^9 \cdot 0,003}{22000 \cdot C} \quad (2)$$

где E – оптическая плотность; 10^9 – коэффициент пересчета на нмоль; 0,003 – объем пробы (л); 22000 – коэффициент молярной экстинкции 2,4-динитрофенилгидразонов; C – содержание белка в пробе (мг).

Статистическая обработка результатов

Обработка экспериментальных данных произведена с использованием пакета программ Statistica 8.0 (StatSoft, Inc., США). Для оценки нормальности распределения использовали критерий Шапиро-Уилка. Поскольку данные демонстрировали нормальное распределение, для оценки достоверности различий применили параметрический критерий Стьюдента. Для количественной характеристики силы взаимосвязи параметров был использован корреляционный анализ Пирсона. Данные на диаграммах приведены в виде: среднее \pm ошибка среднего. Каждый столбец на диаграммах – среднее 6–8 независимых экспериментов.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ***Влияние ТОС на интенсивность окислительных процессов в крови крыс***

Для исследования эффекта ТОС на показатели окислительного стресса у крыс измерили уровни маркеров окислительных модификаций липидов и белков, а также содержание важнейшего низкомолекулярного антиоксиданта клеток – глутатиона.

Индукция различными критическими факторами окружающей среды, а также ксенобиотиками окислительного стресса в живых организмах сопровождается образованием большого количества активных форм кислорода и азота, которые способствуют запуску реакций свободно-радикальных процессов (СРП). В результате окисления ненасыщенных липидов образуется множество первичных, вторичных и третичных продуктов окисления липидов (ПОЛ), среди которых наибольшей диагностической значимостью обладает малоновый диальдегид (МДА).

Для изучения биологических эффектов новосинтезированных ТОС на уровни пероксидации липидов клеточных и неклеточных компонентов крови были исследовано содержание МДА в плазме крови и в эритроцитах (рис. 1 и 2).

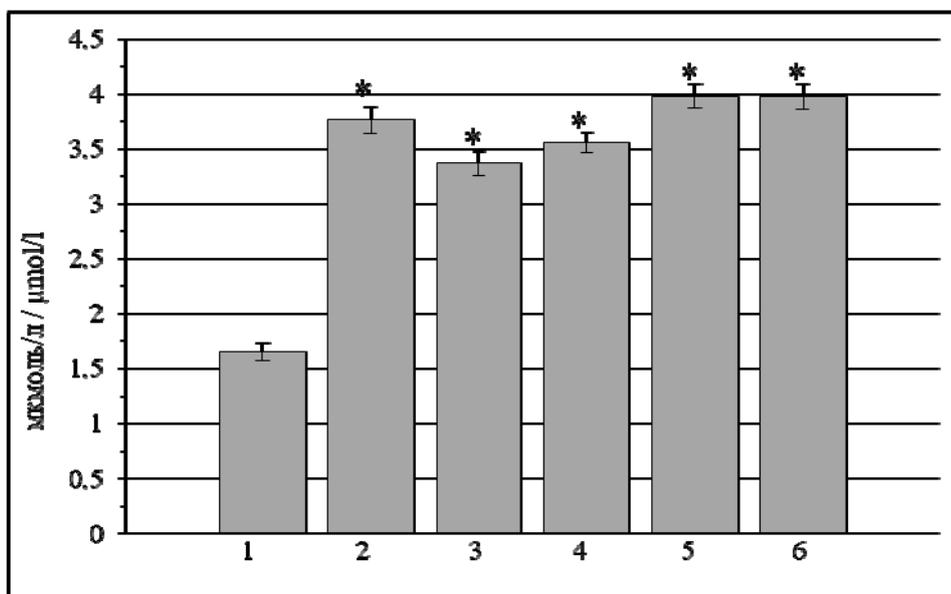


Рисунок 1. Содержание малонового диальдегида (МДА) (мкмоль/л) в плазме крови лабораторных крыс при введении производных 2-бензотеллуразолила: 1 – контроль; 2 – ДМСО; 3 – ТОС1; 4 – ТОС2; 5 – ТОС3; 6 – ТОС4; * – достоверность различий относительно контроля ($p < 0,05$)

Figure 1. Content of malondialdehyde (MDA) ($\mu\text{mol/l}$) in the blood plasma of laboratory rats upon administration of 2-benzotellurazolyl derivatives: 1 – control; 2 – DMSO; 3 – organotellurium compounds1 (OTC1); 4 – OTC2; 5 – OTC3; 6 – OTC4; * – significance of differences relative to control ($p < 0.05$)

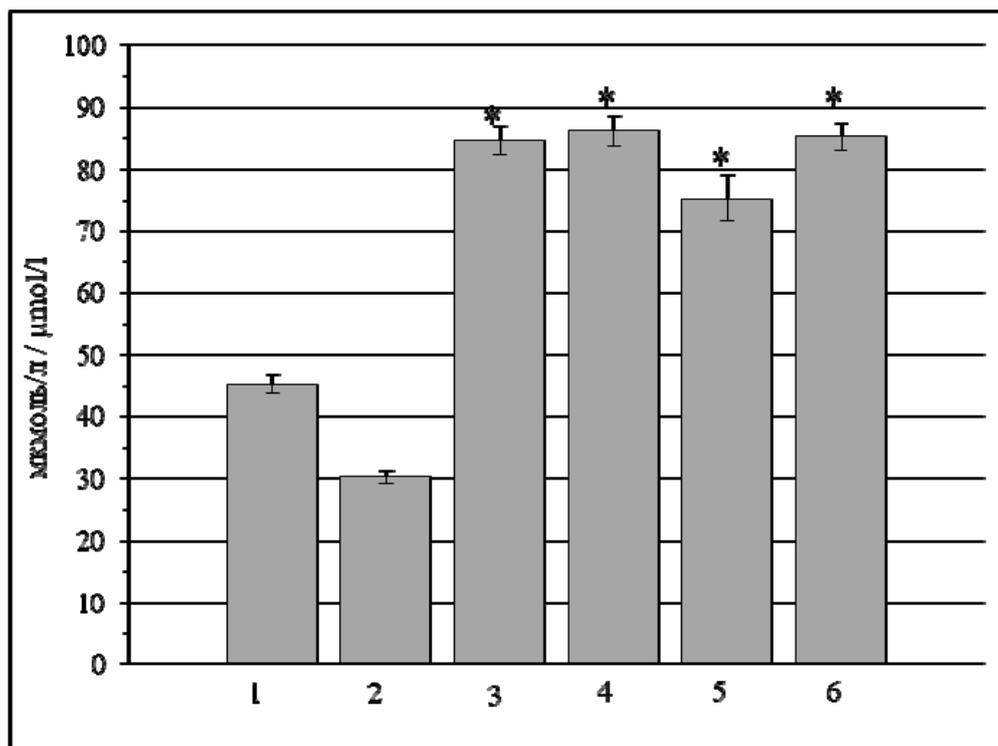


Рисунок 2. Содержание малонового диальдегида (МДА) (мкмоль/л) в эритроцитах крови лабораторных крыс при введении производных 2-бензотеллуразолила: 1 – контроль; 2 – ДМСО; 3 – ТОС1; 4 – ТОС2; 5 – ТОС3; 6 – ТОС4; * – достоверность различий относительно контроля ($p < 0,05$)

Figure 2. Malondialdehyde (MDA) content ($\mu\text{mol/l}$) in the red blood cells of laboratory rats upon administration of 2-benzotellurazolyl derivatives: 1 – control; 2 – DMSO; 3 – OTC1; 4 – OTC2; 5 – OTC3; 6 – OTC4; * – significance of differences relative to control ($p < 0.05$)

Из рисунков видно, что введение производных ТОС в указанных экспериментальных дозах оказывает существенное прооксидантное воздействие на липиды эритроцитов, которое проявляется 3-х кратным, относительно группы животных с ДМСО, повышением уровня МДА (рис. 2). В то же время как уровни МДА в плазме крови статистически не отличаются (ТОС2, ТОС3, ТОС4) или отличается незначительно (ТОС1) от эффектов, оказанных самим растворителем – ДМСО. При этом исходный контрольный уровень ПОЛ в плазме крови значительно ниже такового в эритроцитах. Субстратами ПОЛ в плазме крови могут быть эстерифицированные и неэстерифицированные жирные кислоты. Эстерифицированные жирные кислоты в виде эфиров холестерина и ацилглицерола входят в состав липопротеидов низкой, высокой и очень низкой плотности. Возможно, что апобелки данных липопротеидов, оказывают протекторное влияние на степень окислительной модификации липопротеидных частиц. Часть неэстерифицированных жирных кислот, потенциально являющихся субстратом для окисления АФК, транспортируется в крови с помощью белка плазмы крови – альбумина, содержание которого в крови составляет от 35 до 50 г/л, что составляет до 60 % от общего количества белков плазмы. Нативный альбумин содержит 6 метионинов и 35 остатков цистеина. Возможно, что такое избытие серосодержащих аминокислот в составе альбумина обеспечивает быстрое связывание радикалов кислорода, предотвращая тем самым пероксидацию липидов плазмы в условиях воздействия прооксидантов.

В то же время в самих эритроцитах исходный уровень МДА у контрольных интактных животных значительно выше \approx в 40 раз (рис. 1 и 2), что соответствует литературным данным. Введение ТОС многократно усиливает уровни окислительных процессов в данных клетках. Известно, что эритроциты находятся в среде с более высокой концентрацией O_2 , чем большинство клеток, и потенциально более подвержены повреждающему действию окислителей, чем другие клетки. В норме небольшая доля гемоглобина (Hb) в эритроцитах может превращаться в метгемоглобин (MetHb), при этом гемовое железо Fe^{2+} окисляется до Fe^{3+} . Аутоокисление Hb в MetHb приводит к образованию супероксидного аниона (O_2^-). Однако в цитоплазме эритроцитов имеется фермент супероксиддисмутаза, которая обеспечивает удаление этого повреждающего иона с образованием пероксида водорода, что предотвращает развитие окислительного стресса. Образующийся пероксид водорода разрушается затем каталазой эритроцитов.

Другой путь предотвращения окислительных повреждений в эритроцитах обеспечивает глутатион, который участвует в разложении H_2O_2 , катализируемом глутатионпероксидазой, при этом глутатион окисляется. Система глутатиона играет ключевую роль в предотвращении пероксидации липидов мембран эритроцитов. Исследование содержания глутатиона в эритроцитах крыс показало отсутствие каких-либо существенных эффектов ТОС на уровни данного ключевого антиоксиданта (рис. 3).

Таким образом, исследованные новые производные ТОС оказывают очевидное проокси-

дантное воздействие на эритроциты, не путем истощения компонентов антиоксидантной системы эритроцитов, а посредством других механизмов. Скорее всего эти механизмы связаны с влиянием ТОС на интенсивность превращения Hb в MetHb. При этом нельзя исключать возможность влияния ТОС на активность СОД эритроцитов. Если предположить, что ТОС повышают активность СОД, то такое повышение может привести к резкому увеличению уровня H_2O_2 .

Перепроизводство H_2O_2 на фоне стационарной активности каталазы в эритроцитах, способствует генерации в реакции Хабера-Вейса очень реакционноспособного гидроксильного радикала (OH^\cdot), а в реакции с оксидом азота – пероксинитрита и других активных форм азота. Кроме того, H_2O_2 в присутствии гемового железа (Fe^{2+}) в эритроцитах может образовать в реакции Фентона большое количество радикалов OH^\cdot , инициируя тем самым ПОЛ.

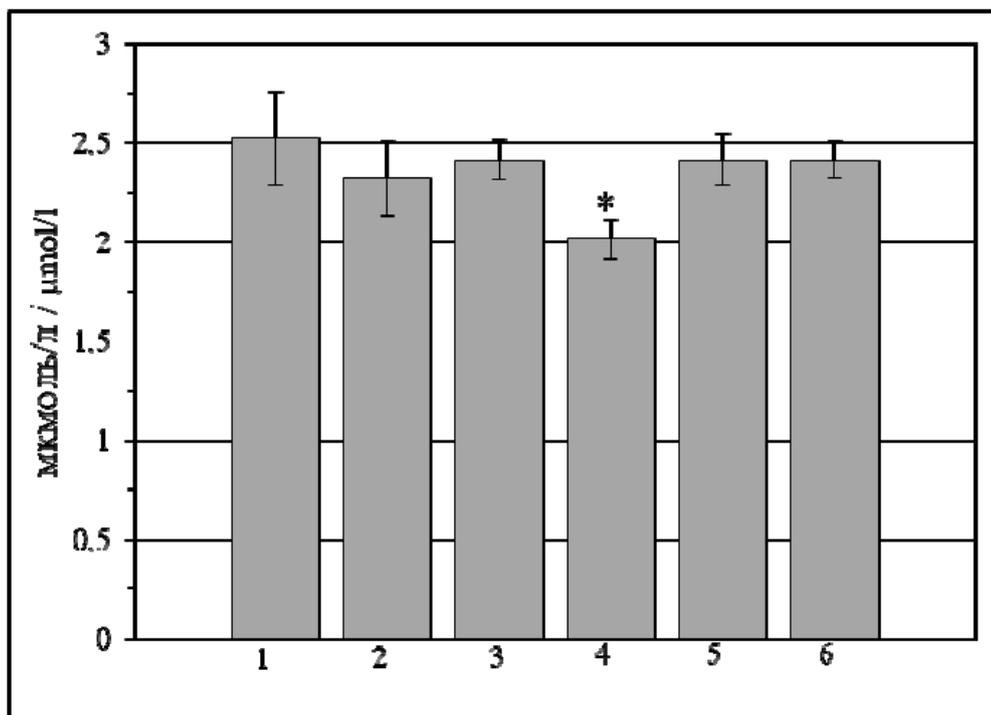


Рисунок 3. Содержание восстановленного глутатиона (мкмоль/л) в эритроцитах крови лабораторных крыс при введении производных 2-бензотеллуразолила: 1 – контроль; 2 – ДМСО; 3 – ТОС1; 4 – ТОС2; 5 – ТОС3; 6 – ТОС4; * – достоверность различий относительно контроля ($p < 0,05$)

Figure 3. Content of reduced glutathione ($\mu\text{mol/l}$) in the red blood cells of laboratory rats upon administration of 2-benzotellurazolyl derivatives: 1 – control; 2 – DMSO; 3 – OTC1; 4 – OTC2; 5 – OTC3; 6 – OTC4; * – significance of differences relative to control ($p < 0.05$)

Влияние ТОС на интенсивность окислительных процессов в печени крыс

Печени принадлежит ведущая роль в метаболизации и нейтрализации токсичных ксенобиотиков. В связи с этим представляется необходимым исследование влияния новосинтезированных ТОС на показатели оксидативного стресса в данном органе. Микросомальная фракция цитозоля гепатоцитов активно окисляет ксенобиотики, что приводит к генерации активных форм кислорода и азота и интенсификации СРП.

Из рис. 4 видно, что даже введение самого растворителя – ДМСО приводит к достоверному повышению содержания МДА. Скорее всего, эти эффекты связаны с пермеабиллизацией мембран гепатоцитов гидрофобным, достаточно токсичным растворителем. Однако прооксидантные эффекты всех исследованных ТОС на уровни ПОЛ многократно превышают эффекты самого ДМСО.

Такой выраженный прооксидантный эффект ТОС, вероятнее всего, связан с наличием эпокси групп, которые сами по себе довольно токсичны и могут вызвать каскад генерации свободных радикалов

кислорода при биотрансформации изученных веществ в печени.

Активные формы кислорода, а также продукты ПОЛ, образующиеся под влиянием прооксидантов в микросомах печени, могут привести не только к интенсификации ПОЛ, но и к окислительной модификации белков (ОМБ). Окисление боковых радикалов пролиновых, аргининовых, лизиновых, гистидиновых остатков аминокислот в белках может приводить к образованию таких продуктов, как карбонильные группы, часто используемых в качестве маркеров ОМБ [12].

Интересно то, что введение ДМСО также значительно повышает интенсивность окислительных процессов в белках печени. Однако, в отличие от МДА, содержание карбонильных групп в белках печени при введении ТОС1 и ТОС3 значительно снижается как относительно контроля, так и относительно растворителя, причем, особенно заметно это снижение при введении ТОС2 (рис. 5). Интерес представляют результаты, полученные при введении ТОС4, на фоне которого содержание карбонильных групп было значительно выше таковых значений контроля, но ниже по сравнению с ДМСО.

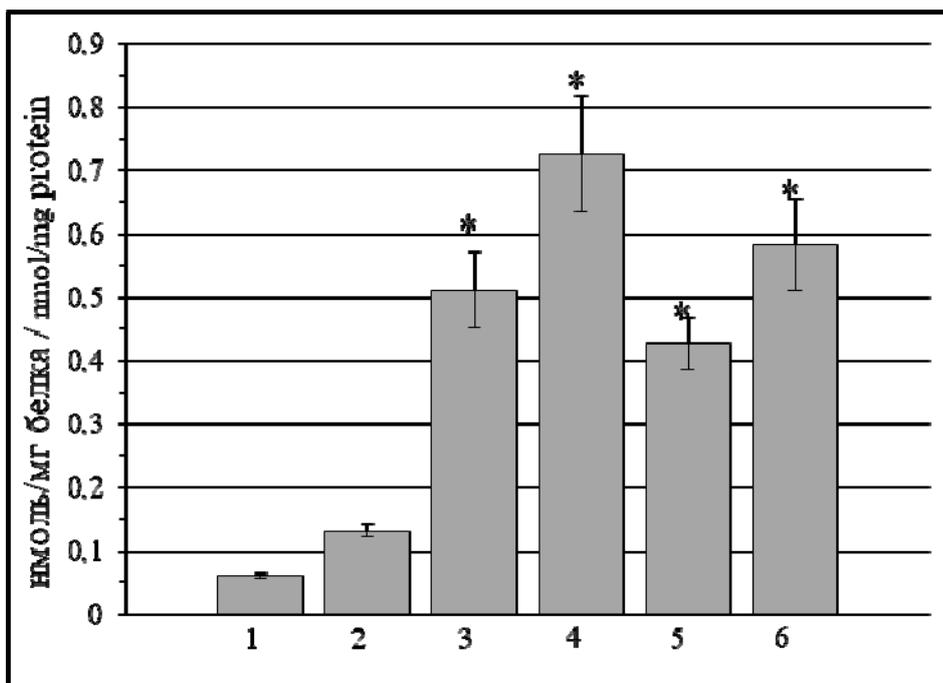


Рисунок 4. Содержание малонового диальдегида (МДА) (нмоль/л) в печени лабораторных крыс при введении производных 2-бензотеллуразолила: 1 – контроль; 2 – ДМСО; 3 – ТОС1; 4 – ТОС2; 5 – ТОС3; 6 – ТОС4; * – достоверность различий относительно контроля ($p < 0,05$)

Figure 4. Content of malondialdehyde (MDA) (nmol/l) in the liver of laboratory rats upon administration of 2-benzotellurazolyl derivatives: 1 – control; 2 – DMSO; 3 – OTC1; 4 – OTC2; 5 – OTC3; 6 – OTC4; * – significance of differences relative to control ($p < 0.05$)

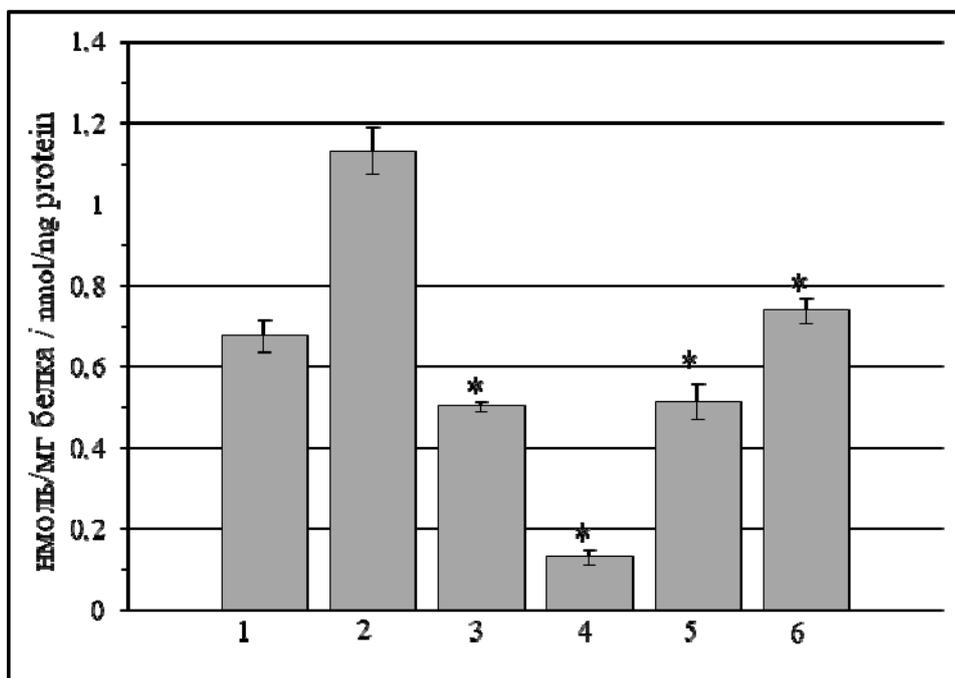


Рисунок 5. Содержание карбонильных групп (нмоль/мг белка) в белках печени лабораторных крыс при введении производных 2-бензотеллуразолила: 1 – контроль; 2 – ДМСО; 3 – ТОС1; 4 – ТОС2; 5 – ТОС3; 6 – ТОС4; * – достоверность различий относительно контроля ($p < 0,05$)

Figure 5. Content of carbonyl groups (nmol/mg protein) in liver proteins of laboratory rats upon administration of 2-benzotellurazolyl derivatives: 1 – control; 2 – DMSO; 3 – OTC1; 4 – OTC2; 5 – OTC3; 6 – OTC4; * – significance of differences relative to control ($p < 0.05$)

Таким образом, изменения содержания продуктов окислительной деструкции белков и липидов в печени крыс при введении ТОС разнонаправлены. Корреляционный анализ, проведенный с использованием коэффициента Пирсона (R), показал очень слабую

взаимосвязь между маркерами ПОЛ и ОМБ ($R = -0,29$; $P > 0,05$). Возможное объяснение такого дисбаланса содержания МДА и карбонильных групп может состоять в том, что модифицированные радикалами кислорода белки активно элиминируются посредством различных

механизмов. Известно, что поврежденные окислителями белки в клетках должны подвергнуться деградации. Существует два механизма такой деградации: лизомально-эндосомальный – для мембраносвязанных белков и убиквитин-протеосомный – для цитоплазматических белков. При этом по сравнению с достаточно быстрой деградацией модифицированных белков, метаболизация в печени продукта ПОЛ – МДА до уксусной кислоты происходит относительно медленно.

Снижение уровня карбонилирования может быть и результатом проявления у исследованных теллурсодержащих веществ антиоксидантных свойств. Известно, что по химическим свойствам органические соединения теллура близки к селенорганическим. Селен и теллур обладают спектром общих свойств и являются элементами одной подгруппы. Селен является важным кофактором глутатионпероксидазы – антиоксидантного фермента, участвующего в нейтрализации пероксида водорода и гидроперок-

сидов липидов. Все это позволяет сделать предположение о том, что глутатионпероксидаза в качестве кофактора может использовать теллур, высвобождающийся при микросомальном окислении.

Глутатионпероксидаза в качестве донора восстановленных эквивалентов использует глутатион. В норме концентрация глутатиона в гепатоцитах очень высока (1–10 мМ), поскольку печень является основным местом синтеза глутатиона. Анализ содержания глутатиона в печени крыс показал, что растворитель ДМСО не оказывает достоверного влияния на уровень данного антиоксиданта (рис. 6). При этом ТОС1 и ТОС3 значительно снижают содержание глутатиона, что может свидетельствовать о синергетическом эффекте окисления липидов и расходования внутриклеточного глутатиона. При этом ТОС2, напротив, повышает уровень глутатиона, что хорошо коррелирует со значительным, относительно ДМСО, снижением карбонильных групп в белках.

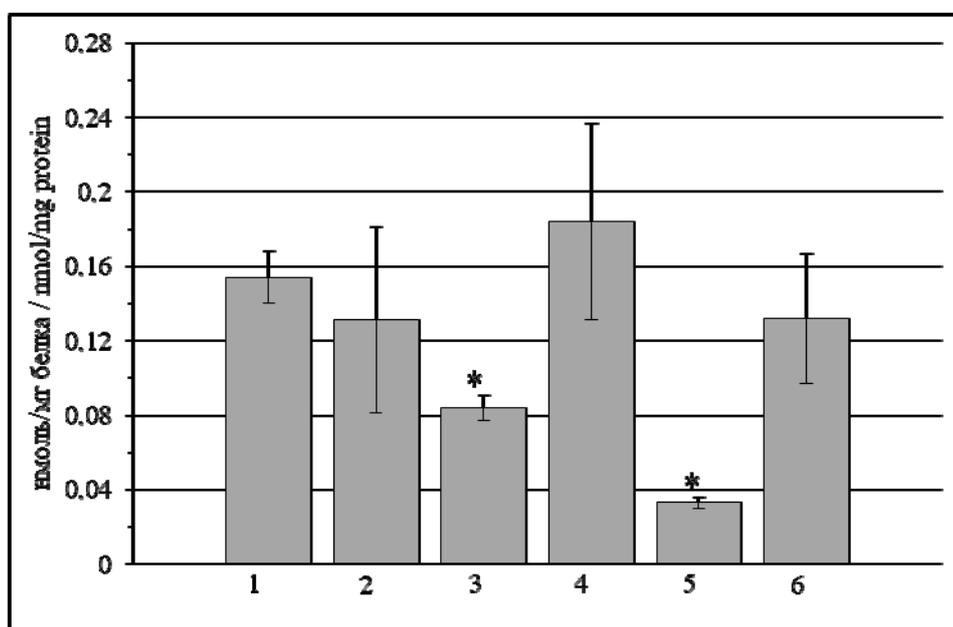


Рисунок 6. Содержание восстановленного глутатиона (нмоль/мг белка) в печени лабораторных крыс при введении производных 2-бензотеллуразолила: 1 – контроль; 2 – ДМСО; 3 – ТОС1; 4 – ТОС2; 5 – ТОС3; 6 – ТОС4; * – достоверность различий относительно контроля ($p < 0,05$)

Figure 6. Content of reduced glutathione (nmol/mg protein) in the liver of laboratory rats upon administration of 2-benzotellurazoly derivatives: 1 – control; 2 – DMSO; 3 – OTC1; 4 – OTC2; 5 – OTC3; 6 – OTC4; * – significance of differences relative to control ($p < 0.05$).

Таким образом, ТОС2 обладает определенным антиоксидантным эффектом и может защищать белки от окисления. Однако, в то же время, оно так же, как и все другие изученные ТОС, может способствовать интенсификации пероксидации липидов, проявляя тем самым свои выраженные прооксидантные свойства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом можно заключить, что в указанных выше дозах и способе введения новосинтезированные теллурсодержащие цианиновые красители повышают интенсивность окислительных процессов в липидах эритроцитов и печени крыс, при этом конкретные эффекты изученных ТОС существенно зависят от их химической природы. Даже незначительные изменения в структуре близких по строению веществ могут сильно

повлиять на их биологические свойства. Обнаруженные преимущественно прооксидантные свойства новосинтезированных органических соединений теллура делают их перспективными средствами противобактериальной, противовирусной и противоопухолевой терапии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Адиева А.А., Умарова Ю.А., Меджидова М.Г., Меджидов А.Г. Перспективы развития биопродовольственной промышленности в России // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. N 12–7. С. 1261–1265. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=11025> (дата обращения: 27.08.2023)

2. Gross M., Stanciu E., Kenigsbuch-Sredni D., Sredni B., Pinhasov A. The immunomodulatory tellurium compound ammonium trichloro (dioxoethylene-O,O') tellurate reduces anxiety-like behavior and corticosterone levels of submissive mice // *Behavioural Pharmacology*. 2017. V. 28. N 6. P. 458–465. <https://doi.org/10.1097/FBP.0000000000000319>
3. Halpert G., Halperin Sheinfeld M., Monteran L., Sharif K., Volkov A., Nadler R., Schlesinger A., Barshak I., Kalechman Y., Blank M., Shoenfeld Y., Amital H. The tellurium-based immunomodulator, AS101 ameliorates adjuvant-induced arthritis in rats // *Clinical and Experimental Immunology*. 2021. V. 203. N 3. P. 375–384. <https://doi.org/10.1111/cei.13553>
4. Piña M.L.N., Bauzá A. On the Importance of Halogen and Chalcogen Bonds in the Solid State of Nucleic Acids: A Combined Crystallographic and Theoretical Perspective // *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. V. 24. N 17. <https://doi.org/10.3390/ijms241713035>
5. Vávrová S., Struhárňanská E., Turňa J., Stuchlík S. Tellurium: A Rare Element with Influence on Prokaryotic and Eukaryotic Biological Systems // *International Journal of Molecular Sciences*. 2021. V. 22. N 11. P. 5924. <https://doi.org/10.3390/ijms22115924>
6. Pinheiro F.C., Bortolotto V.C., Araujo S.M., Couto S.F., Dahleh M.M.M., Cancela M., Neto J., Zeni G., Zaha A., Prigol M. Oxidative stress response system in *Escherichia coli* arising from diphenyl ditelluride (PhTe)₂ exposure // *Toxicology in Vitro*. 2022. V. 83. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2022.105404>
7. Yang T.Y., Tseng S.P., Ho H.C., Chen L.H., Hsueh P.R., Lu P.L., Lin C.H., Wang L.C. In Vitro Evaluation of Tellurium-Based AS101 Compound against *Neisseria gonorrhoeae* Infectivity // *Microbiol Spectr*. 2023. V. 11. N 2. Article id: e0149622. <https://doi.org/10.1128/spectrum.01496-22>
8. Русецкая Н.Ю., Федотов И.В., Кофтина В.А., Бородулин В.В. Соединения селена в редокс-регуляции воспаления и апоптоза // *Биомедицинская химия*. 2019. Т. 65. N 3. С. 165–179. <https://doi.org/10.18097/PBMC20196503165>
9. Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 1 апреля 2016 «Об утверждении правил надлежащей лабораторной практики». 2016. N 199н. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=278397> (дата обращения: 25.08.2023)
10. Адиева А.А., Климова Р.Р., Абакаров Г.М., Бекшоков К.С., Федорова Н.Е., Омарова Д.К., Куц А.А., Джамалова С.А., Халимбекова А.М., Гусейнова А.Р. Цитотоксичность и противовирусная активность производных теллура в клетках, инфицированных вирусом простого герпеса и цитомегаловирусом in vitro // *Юг России: экология, развитие*. 2021. Т. 16. N 3. С. 108–118. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-3-108-118>
11. Дубинина Е.Е., Пустыгина А.В. Окислительная модификация протеинов, ее роль при патологических состояниях // *Укр. биохим. журн*. 2008. Т. 80. N 6. С. 5–18.
12. Scopes R.K. Protein Purification, (Principles and Practice) // *Preparative Biochemistry*. 1982. V. 14. N 1. P. 89–90. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-1770-9>
- REFERENCES**
1. Adieva A.A., Umarova Yu.A., Medzhidova M.G., Medzhidov A.G. [Prospects for the development of the bio-food industry in Russia]. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2016, no. 12–7. pp. 1261–1265. (In Russian) Available at: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=11025> (accessed 27.08.2023)
2. Gross M., Stanciu E., Kenigsbuch-Sredni D., Sredni B., Pinhasov A. The immunomodulatory tellurium compound ammonium trichloro (dioxoethylene-O,O') tellurate reduces anxiety-like behavior and corticosterone levels of submissive mice. *Behavioural Pharmacology*, 2017, vol. 28, no. 6, pp. 458–465. <https://doi.org/10.1097/FBP.0000000000000319>
3. Halpert G., Halperin Sheinfeld M., Monteran L., Sharif K., Volkov A., Nadler R., Schlesinger A., Barshak I., Kalechman Y., Blank M., Shoenfeld Y., Amital H. The tellurium-based immunomodulator, AS101 ameliorates adjuvant-induced arthritis in rats. *Clinical and Experimental Immunology*, 2021, vol. 203, no. 3, pp. 375–384. <https://doi.org/10.1111/cei.13553>
4. Piña M.L.N., Bauzá A. On the Importance of Halogen and Chalcogen Bonds in the Solid State of Nucleic Acids: A Combined Crystallographic and Theoretical Perspective. *International Journal of Molecular Sciences*, 2023, vol. 24, no. 17. <https://doi.org/10.3390/ijms241713035>
5. Vávrová S., Struhárňanská E., Turňa J., Stuchlík S. Tellurium: A Rare Element with Influence on Prokaryotic and Eukaryotic Biological Systems. *International Journal of Molecular Sciences*, 2021, vol. 22, no. 11, p. 5924. <https://doi.org/10.3390/ijms22115924>
6. Pinheiro F.C., Bortolotto V.C., Araujo S.M., Couto S.F., Dahleh M.M.M., Cancela M., Neto J., Zeni G., Zaha A., Prigol M. Oxidative stress response system in *Escherichia coli* arising from diphenyl ditelluride (PhTe)₂ exposure. *Toxicology In Vitro*, 2022, vol. 83. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2022.105404>
7. Yang T.Y., Tseng S.P., Ho H.C., Chen L.H., Hsueh P.R., Lu P.L., Lin C.H., Wang L.C. In Vitro Evaluation of Tellurium-Based AS101 Compound against *Neisseria gonorrhoeae* Infectivity. *Microbiology Spectrum*, 2023, vol. 11, no. 2, article id: e0149622. <https://doi.org/10.1128/spectrum.01496-22>
8. Rusetskaya N.Y., Fedotov I.V., Koftina V.A., Borodulin V.B. Selenium compounds in redox regulation of inflammation and apoptosis. *Biomedical chemistry*, 2019, vol. 65, no. 3, pp. 65–179. (In Russian) <https://doi.org/10.18097/PBMC20196503165>
9. *Prikaz Ministerstva zdravookhraneniya Rossiiskoi Federatsii ot 1 aprelya 2016 «Ob utverzhde-nii pravil nadlezhachei laboratornoi praktiki»* [Order of the Ministry of Health of the Russian Federation dated April 1, 2016 «On approval of the rules of good laboratory practice»]. 2016, N 199n. Available at: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=278397> (In Russian) (accessed 25.08.2023)
10. Adieva A.A., Klimova R.R., Abakarov G.M., Bekshokov K.S., Fedorova N.E., Omarova D.K., Kushch A.A., Dzhmalova S.A., Khalimbekova A.M., Guseynova A.R. Cytotoxicity and antiviral activity of tellurium derivatives in cells infected with herpes simplex virus and cytomegalovirus in vitro. *South of Russia: ecology, development*, 2021, vol. 16, no. 3, pp. 108–118. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-3-108-118>
11. Dubinina E.E., Pustygina A.V. Oxidizing modification of proteins, its role at pathological states. *Ukrainskii biokhimicheskii zhurnal [Ukrainian Biochemical Journal]*. 2008, vol. 80, no. 6, pp. 5–18. (In Russian)
12. Scopes R.K. Protein Purification, (Principles and Practice). *Preparative Biochemistry*, 1982, vol. 14, no. 1, pp. 89–90. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-1770-9>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Альбина М. Джафарова, Айна А. Адиева написали рукопись. Гасан М. Абакаров проводил эксперимент. Ашура И. Исрапилова, Надира О. Гусейнова, Ума Ю. Халимбекова, Мария Д. Астаева, Керим С. Бекшоков корректировали рукопись до подачи в редакцию. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Albina M. Dzhafarova and Aina A. Adieva wrote the manuscript. Gasan M. Abakarov conducted experiments. Ashura I. Israpilova, Nadira O. Guseynova, Uma Y. Khalimbekova, Maria D. Astaeva and Kerim S. Bekshokov corrected the manuscript before submitting it to the Editor. All authors are equally responsible for the detection of plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Ашура И. Исрапилова / Ashura I. Israpilova <https://orcid.org/0009-0001-6318-595X>

Альбина М. Джафарова / Albina M. Dzhafarova <https://orcid.org/0000-0001-7744-859X>

Айна А. Адиева / Aina A. Adieva <https://orcid.org/0000-0001-8868-4782>

Гасан М. Абакаров / Gasan M. Abakarov <https://orcid.org/0000-0002-9225-9321>

Надира О. Гусейнова / Nadira O. Guseynova <https://orcid.org/0000-0003-3979-4293>

Ума Ю. Халимбекова / Uma Y. Khalimbekova <https://orcid.org/0009-0006-2529-3139>

Мария Д. Астаева / Maria D. Astaeva <https://orcid.org/0000-0002-4036-9481>

Керим С. Бекшоков / Kerim S. Bekshokov <https://orcid.org/0000-0003-0736-1522>

Оригинальная статья / Original article
УДК 633.2.03(212.6):636
DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-10



Степные экосистемы юга России как фактор эффективного развития животноводства

Александр И. Суров, Нина Г. Лапенко, Олеся В. Хонина, Лусине Р. Оганян, Мария А. Старостина
Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Россия

Контактное лицо

Олеся В. Хонина, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр; 356241 Россия, г. Михайловск, ул. Никонова, 49.
Тел. +79197381402
Email senokos.st@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8509-862X>

Формат цитирования

Суров А.И., Лапенко Н.Г., Хонина О.В., Оганян Л.Р., Старостина М.А. Степные экосистемы юга России как фактор эффективного развития животноводства // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 1. С. 95-104. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-10

Получена 27 июля 2022 г.
Прошла рецензирование 14 января 2023 г.
Принята 15 сентября 2023 г.

Резюме

Цель – оценить современное состояние степных экосистем, подверженных антропогенному воздействию, дать научно обоснованные предложения по сохранению и воспроизводству их природного потенциала.

Объект исследования – степные экосистемы аридной зоны Ставропольского края. Исследования, проведенные в 2019–2021 гг., включали использование методик и приемов – геоботанических, экономико-статистических, абстрактно-логических, расчетно-конструктивных.

Анализ природно-ресурсного потенциала степей аридной зоны Ставрополья показал несоответствие между имеющимся поголовьем и емкостью пастбищ этой территории. В данное время объем пастбищных кормов составляет порядка 830 тысяч тонн кормовых единиц, что ниже потребности животноводства в 1,5 раза. Преобладающие растительные ассоциации – полынно-мятликово-осоковые, мятликово-типчаково-полынные, мятликово-ковыльно-полынные, мятликово-полынно-солянковые с низким видовым разнообразием – от 10 до 17 видов на 100 м². Проективное покрытие почвы растениями от 30 до 60 %, что свидетельствует о разреженности растительного покрова. Биологическая урожайность фитомассы составляет в среднем 7,0 ц/га воздушно-сухого вещества. Видовое разнообразие степных сообществ представлено сорными видами, имеющих низкое кормовое качество. В природных фитоценозах утеряны целинные злаки-доминанты, являющиеся ценозообразователями, а представители семейства бобовых, вообще отсутствуют в травостое.

Научный подход к устойчивому развитию, сохранению и воспроизводству потенциала природных экосистем в сельскохозяйственных ландшафтах предполагает рациональное использование и улучшение (восстановление) сохранившихся малопродуктивных природных травостоев, утративших способность к самовосстановлению.

Ключевые слова

Степные экосистемы, сельскохозяйственный ландшафт, видовое разнообразие, растительные ассоциации, антропогенное воздействие, пастбищные угодья.

Steppe ecosystems of the arid zone of southern Russia as a factor in the effective development of livestock farming

Alexander I. Surov, Nina G. Lapenko, Olesya V. Khonina, Lusine R. Oganyan and Mariya A. Starostina

North Caucasus Federal Agrarian Research Centre, Mikhaylovsk, Russia

Principal contact

Olesya V. Khonina, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, North Caucasus Federal Agrarian Research Centre; 49 Nikonova St, Mikhaylovsk, Russia 356241.

Tel. +79197381402

Email senokos.st@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8509-862X>

How to cite this article

Surov A.I., Lapenko N.G., Khonina O.V., Oganyan L.R., Starostina M.A. Steppe ecosystems of the arid zone of southern Russia as a factor in the effective development of livestock farming. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(1):95-104. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-10

Received 27 July 2022

Revised 14 January 2023

Accepted 15 September 2023

Abstract

The aim of the research is to assess the current state of steppe ecosystems, which are subjected to human impact and to provide scientifically-based proposals for the conservation and regeneration of their natural potential.

The object of the study is the steppe ecosystems of the arid zone in the Stavropol Territory. The research conducted in 2019–2021 included the use of methods and techniques, encompassing the geobotanical, economic and statistical, abstract and logical, computational and constructive.

An analysis of the natural resource potential of the steppes in the arid zone of Stavropol Territory showed a discrepancy between the current livestock and the carrying capacity of this territory. The forage for grazing is about 830 thousand tons of feed units, which is 1.5 times lower than the livestock needs. The predominant plant associations are wormwood-bluegrass-sedge, bluegrass-sheep fescue-wormwood, bluegrass-feather grass-wormwood, bluegrass-wormwood-salt grass with low species diversity – from 10 to 17 species per 100 m². The plant cover of the soil is from 30 to 60 %, which indicates its sparseness. The average biological yield of phytomass is 7.0 kg/ha of air-dry matter. The species diversity of the steppe communities is represented by weed species that have low forage quality. In natural phytocenoses, the cereals dominant in forming cenoses in virgin land, have been lost. There are no any representatives of the legume family in the plant stand.

The scientific approach to sustainable development, conservation and regeneration of the potential of natural ecosystems in agricultural landscapes involves the rational use and improvement (rehabilitation) of the remaining low-yield natural grass stands that have lost the ability of regeneration.

Key Words

Steppe ecosystems, agricultural landscape, species diversity, plant associations, human impact, pastures.

ВВЕДЕНИЕ

Обширные площади природных кормовых угодий юга России, которые составляют 21112,9 тыс. га, являются важнейшей кормовой базой, а, следовательно, и материальной основой для рентабельного ведения отрасли животноводства, являющейся одной из древнейших отраслей хозяйствования южных регионов России [1–3].

Однако современный истощительный характер природопользования в аридной зоне, увеличение пастбищной нагрузки выше допустимых нормативов без учета сезонной динамики видового состава природных кормовых угодий привели к негативным экологическим последствиям, таким как развитие процессов пастбищной дигрессии, опустыниванию, что способствует разрушению степей [4–7].

Экологическая безопасность окружающей среды и экономика тесно связаны. Нарушение экологического равновесия приходится возмещать огромными дополнительными затратами. В настоящее время отечественное животноводство переживает кризис, который сопряжен как с рядом негативных экономических факторов (несбалансированность материально-технической базы, диспаритет цен), так и с неудовлетворительным состоянием земельных ресурсов, в том числе пастбищных земель [8; 9].

Эффективность отрасли животноводства во многом зависит именно от прочной и устойчивой кормовой базы, создание которой должно быть максимально сосредоточено на рациональном использовании природных ресурсов с учетом продуктивности пастбищ и возможности их возобновления [10].

Обеспечение устойчивого производства животноводческой продукции на основе сохранения и воспроизводства природно-ресурсной базы на фоне экологически оправданной интенсификации на окружающую природную среду – главная задача человечества.

Цель работы – оценить современное состояние степных экосистем, подверженных антропогенному воздействию, дать научно обоснованные предложения по сохранению и воспроизводству природно-ресурсного потенциала для эффективного ведения животноводства и сохранения экологического равновесия в сельскохозяйственных ландшафтах.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования – степные экосистемы аридной зоны Ставропольского края, включающие административные районы – Апанасенковский, Арзгирский, Левокумский, Нефтекумский.

По агроэкологическим и почвенным условиям территория исследования относится к крайне-засушливой зоне и занимает ландшафты полупустынных и сухих степей. Рельеф представляет преимущественно плоскую пониженную равнину с абсолютными высотами не более 200 м. Бонитет сельхозугодий – до 30 баллов. Преобладающие почвы – каштановые и светло-каштановые. Климат резко континентальный. Среднегодовое количество осадков – 387–400 мм. Осадки в течение года выпадают неравномерно. Основная их часть приходится на осенне-весенний сезон. Летние осадки кратковре-

менные, ливневого характера, что вызывает распространение водной эрозии. В летнее время восточный ветер приносит раскаленный воздух среднеазиатских пустынь. С ним связаны засухи и пылевые бури, начинающиеся при скорости ветра 15–20 м/с. То есть, исследуемая территория находится в суровых почвенно-климатических условиях.

Природные кормовые угодья исследуемых территорий, размещенные на эродированных землях, как правило, имеют низкую продуктивность и малопитательную зеленую массу. Травостой сильно изрежен, покрывает почву лишь на 30–35 %. Сбитая дернина и изреженный травостой способствовали водной и ветровой эрозии.

При выполнении работы проведены комплексные исследования (экспедиционные и камеральные), включающие использование методик и приемов – геоботанических, экономико-статистических, абстрактно-логических, расчетно-конструктивных.

В основе работы использовались данные государственных статистических органов Российской Федерации и субъектов Северо-Кавказского федерального округа.

Геоботанические исследования проводились в 2019–2021 гг. на учетных площадках (100 м², 0,5 м²). Растительность описывалась по системе О. Друде. Определение биологической урожайности растительного покрова проведено укосным методом в четырехкратной повторности.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Совокупность негативных факторов и нерешенных вопросов функционирования сельскохозяйственного производства страны (дефицит материально-денежных ресурсов у сельхозтоваропроизводителей, несбалансированность материально-технической оснащенности сельскохозяйственных предприятий и хозяйств, высокий износ техники, ценовой диспаритет на сельскохозяйственную продукцию и необходимые для ее производства материально-технические ресурсы, нарушение межотраслевых связей, слабое развитие кооперативных и интеграционных процессов между субъектами аграрного и продовольственного рынков и т.п.) оказали сдерживающее влияние, прежде всего, на развитие животноводства и сформировали убыточность большинства его отраслей.

Производство мяса крупного рогатого скота и шерсти стало хронически нерентабельным, что предопределило катастрофический сброс поголовья и дестабилизацию производства большинства регионов страны, в том числе и в субъектах Северо-Кавказского федерального округа.

Так, по данным единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС) [11] за 30 последних лет численность поголовья крупного рогатого скота в России сократилась на 39,0 млн голов или в 3,2 раза, а мелкого рогатого скота – на 36,5 млн голов или в 2,7 раза, в Северо-Кавказском федеральном округе, соответственно, на 0,8 млн голов или в 1,4 раза и 3,5 млн голов или в 1,4 раза (табл. 1).

Эти показатели характеризуют тенденции сокращения поголовья животных во всех категориях хозяйств. В то же время в общественном секторе, сельскохозяйственных предприятиях, темпы спада

поголовья более значительны – численность поголовья крупного рогатого скота за исследуемый период (1990–2020 гг.) уменьшилась в 5,8 раз в России и 7,7 раз

в Северо-Кавказском федеральном округе, а овец и коз – в 13,0 и 4,7 раза, соответственно.

Таблица 1. Динамика поголовья крупного и мелкого рогатого скота в субъектах Северо-Кавказского федерального округа во всех категориях хозяйств, тыс. голов

Table 1. Dynamics of the number of cattle and small cattle in the constituent territories of the North Caucasian Federal District in all types of farms, expressed by thousand heads

Наименование субъекта РФ Constituent territory of the Russian Federation	Годы / Years			
	1990	2000	2010	2020
Крупный рогатый скот / Cattle				
Россия Russia	57 043,0	27 519,8	19 793,9	18 027,2
Северо-Кавказский федеральный округ – всего North Caucasian Federal District – total	2 874,1	1 818,0	2 080,6	2 055,7
Республика Дагестан Republic of Dagestan	743,4	678,8	881,9	934,0
Республика Ингушетия* Republic of Ingushetia	...	39,8	60,1	69,5
Кабардино-Балкарская Республика Kabardino-Balkar Republic	322,5	229,5	243,9	271,4
Карачаево-Черкесская Республика Karachay-Cherkess Republic	272,7	131,6	199,7	153,5
Республика Северная Осетия-Алания Republic of North Ossetia-Alania	178,0	123,8	125,7	95,9
Чеченская Республика* Chechen Republic	298,2	170,0	210,7	253,1
Ставропольский край Stavropol Territory	1 059,3	444,5	358,5	278,4
Овцы и козы / Sheep and goats				
Россия Russia	58194,9	14961,9	21733,7	21659,9
Северо-Кавказский федеральный округ – всего North Caucasian Federal District – total	11645,8	4486,6	8140,7	8099,3
Республика Дагестан Republic of Dagestan	3351,1	2301,1	4391,4	4533,8
Республика Ингушетия* Republic of Ingushetia	...	45,1	93,0	292,9
Кабардино-Балкарская Республика Kabardino-Balkar Republic	426,2	337,2	340,9	393,1
Карачаево-Черкесская Республика Karachay-Cherkess Republic	764,1	289,1	947,8	1109,7
Республика Северная Осетия-Алания Republic of North Ossetia-Alania	141,9	59,7	86,3	110,9
Чеченская Республика* Chechen Republic	755,0	129,2	194,5	284,5
Ставропольский край Stavropol Territory	6207,5	1325,2	2086,8	1374,3

Примечание: «*» – Чечено-Ингушская Республика
Note: «*» – Chechen-Ingush Republic

Наиболее значительно за 1990–2020 гг. сократилось поголовье крупного и мелкого рогатого скота в Ставропольском крае (рис. 1).

Так, к началу экономических реформ 1990 гг. в крае поголовье животных насчитывало более 6 млн голов овец и более одного миллиона крупного рогатого скота при нагрузке животных до 6–8 условных голов на гектар пастбищ. За последние 30 лет (1990–2020 гг.) поголовье крупного и мелкого рогатого скота в хозяйствах всех категорий сократилось практически в 4 раза и на сегодняшний день (2020 г.) составляет 1,37 млн голов овец и 278 тыс. голов крупного рогатого скота.

На примере одного из субъектов Северо-Кавказского федерального округа – Ставропольского края, сделан анализ состояния пастбищных угодий, их ресурсный потенциал с учетом поголовья сельскохозяйственных животных. Статистический анализ показал несоответствие между имеющимся поголовьем и ёмкостью пастбищных угодий степного Ставрополя. Запас кормов, который можно получить в пастбищный период со всех природных травостоев, включающих четыре почвенно-климатических зоны региона, составляет около 830 тыс. кормовых единиц, что ниже нормативной потребности животных в пастбищных кормах в летний период, в 1,5 раза.

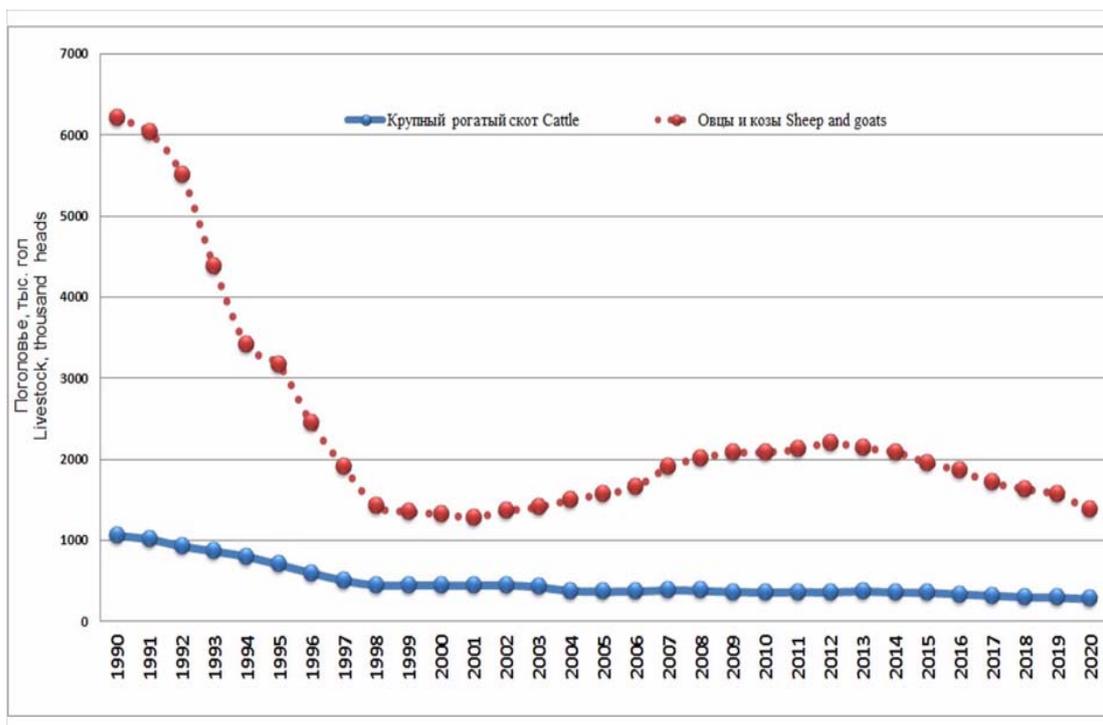


Рисунок 1. Динамика поголовья крупного рогатого скота и мелкого рогатого скота в хозяйствах всех категорий Ставропольского края (1990–2020 гг.), тыс. голов

Figure 1. Dynamics of the number of cattle and small cattle in farms of all types of the Stavropol Territory (1990–2020), expressed by thousand heads

Особую тревогу вызывает состояние природных кормовых угодий первой почвенно-климатической зоны края, численность поголовья мелкого и крупного рогатого скота в которой составляет – около 200 тыс. условных голов или более 40 % от общего краевого поголовья. В этом сельскохозяйственном ландшафте, сформированном в достаточно суровых аридных условиях и издавна используемом человеком для

развития животноводства, где площадь пастбищных угодий значительна и составляет 40 % от общекраевой, практически не осталось природного уголка, не затронутого деятельностью сельхозпроизводителя, нередко истощительной. В настоящее время эти пастбищные угодья обеспечивают существующее поголовье природным кормом лишь на треть от нормативных объемов потребления (рис. 2).

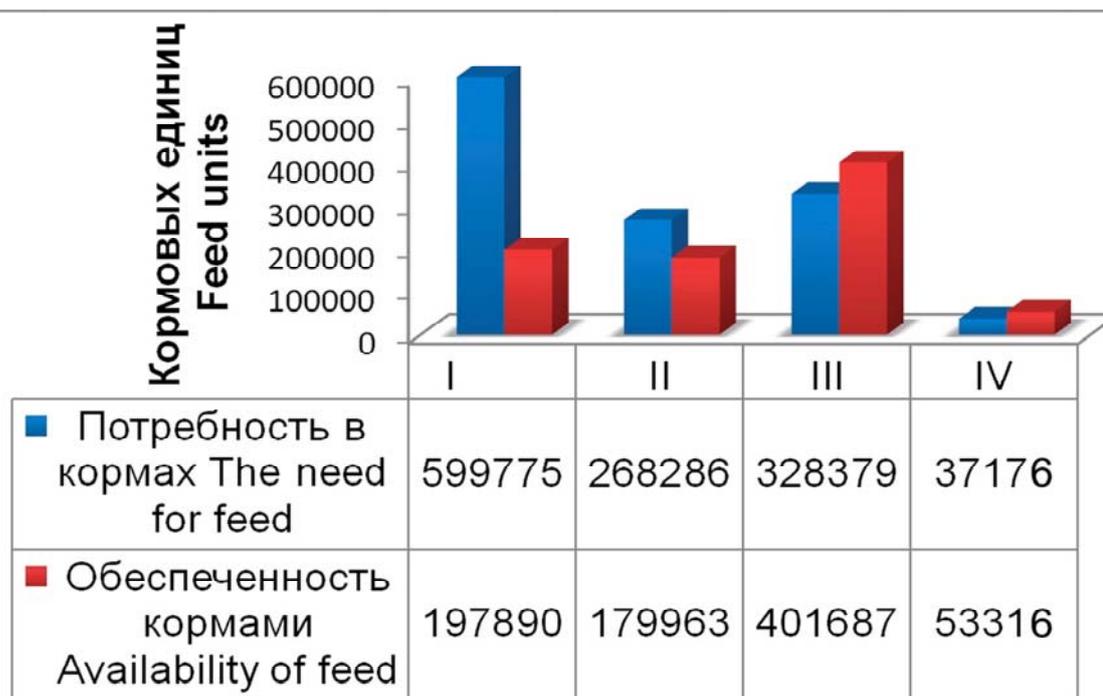


Рисунок 2. Обеспеченность и потребность в пастбищных кормах поголовья животных, кормовых единиц

Длительное пребывание сельскохозяйственных животных на пастбищных угодьях, с одной стороны позволяет обеспечить рост среднесуточных привесов, как результат, увеличение продуктивности поголовья, так как зеленый пастбищный корм – один из основных источников питательных веществ и энергии для выпасающегося в теплый период скота. А с другой стороны, ресурсы природных травостоев не безграничны. Под влиянием длительного, нерегулируемого выпаса и наличия поголовья, превышающего допустимую емкость пастбищ, происхо-

дит негативное преобразование видового состава растительного покрова, соответственно, качество пастбищного корма ухудшается.

Анализ материалов геоботанического обследования наиболее часто встречающихся растительных ассоциаций – полынно-мятливо-осоковой, мятликово-типчакково-полынной, мятликово-ковыльно-полынной, мятликово-полынно-солянковой показал низкое видовое богатство на единицу площади (100 м²) – от 10 до 17 шт. (табл. 2).

Таблица 2. Флористический состав и обилие видов в степных травостоях аридной зоны

Table 2. Floristic composition and abundance of species in the steppe grass stands of the arid zone

Виды растений Plant species	Растительные ассоциации / Plant associations			
	Полынно-мятливо-осоковая wormwood-bluegrass-sedge	Мятликово-типчакково-полынная bluegrass-sheep fescue-wormwood	Мятликово-ковыльно-полынная bluegrass-feather grass-wormwood	Мятликово-полынно-солянковая bluegrass-wormwood-salt grass
Бассия очитковая <i>Bassia sedoides</i> (Pall.) Aschers.			Sp1	
Бурачок пустынный <i>Alyssum desertorum</i> Stapf	Sp1			Sp1
Вероника весенняя <i>Veronica verna</i> L.	Sp1	Sp2	Sol	
Гусиный лук луковичный <i>Gagea bulbifera</i> (Pall.) Salisb.		Sol		
Живокость великолепная <i>Consolida regalis</i> S.F.Gray				Sp1
Житняк гребенчатый <i>Agropyron pectinatum</i> (Bieb.) Beauv.	Sol			
Зопник колючий <i>Phlomis pungens</i> Willd.	Sp1			
Келерия стройная <i>Koeleria cristata</i> (L.) Pers.	Sp1			
Клевер полевой <i>Chrisaspis campestris</i> (Schreb.) Desv.	Sp1			
Ковыль волосовидный <i>Stipa capillata</i> L.		Sp2		
Ковыль Лессинга <i>Stipa lessingiana</i> Trin.et Rupr.		Sp2	Sp3	
Костенец зонтичный <i>Holosteum umbellatum</i> L.		Sp2		
Костер растопыренный <i>Bromus squarrosus</i> L.			Sol	
Костер японский <i>Bromus japonicus</i> Thunb.			Sp1	Sp1
Лапчатка серебристая <i>Potentilla argentea</i> L.	Sp1			
Латук солончаковый <i>Lactuca saligna</i> L.		Sp1		
Лебеда татарская <i>Atriplex tatarica</i> L.				Sp1

Лютик остроплодный <i>Ranunculus oxyspermus</i> Willd.		Sp2		
Мортук пшеничный <i>Eremopyrum triticeum</i> (Gaertn.) Nevski				Sp1
Мялик луковичный <i>Poa bulbosa</i> L.	Sp3	Sp3	Sp3	Sp3
Овсяница валлиская <i>Festuca valesiaca</i> Gaudin	Sp2	Sp3		
Овсяница скальная <i>Festuca rupicola</i> Schur		Sp3		
Осока узколистная <i>Carex stenophylla</i> Wahlenb.	Sp3	Sp3		
Одуванчик лекарственный <i>Taraxacum officinale</i> Wigg.		Sp2		
Песчанка чабрецелистная <i>Arenaria serpyllifolia</i> L.		Sp2		
Полынь австрийская <i>Artemisia austriaca</i> Jacq.	Cop1	Sp3		
Полынь Лерха <i>Artemisia lerchiana</i> Web. ex Stechm.	Sp3		Sp2	Sp2
Птицемлечник Коха <i>Ornithogalum kochii</i> Parl.		Sp1		
Рогоплодник песчаный <i>Ceratocarpus arenarius</i> L.		Sp2	Sp1	Sp1
Синеголовник полевой <i>Eryngium campestre</i> L.	Sol			
Солянка древовидная <i>Salsola dendroides</i> Pall.				Sol
Солянка южная <i>Salsola australis</i> R.Br.				Sp2
Тысячелистник Биберштейна <i>Achillea biebersteinii</i> Afan.	Sp1			
Чабрец Маршалла <i>Thymus marschallianus</i> Willd.	Sp1			
Чертополох крючочковый <i>Carduus hamulosus</i> Ehrh.		Sol		
Хондрилла ситниковидная <i>Chondrilla juncea</i> L.	Sp1		Sp1	
Якорцы стелющиеся <i>Tribulus terrestris</i> L.			Sol	
Всего видов Total	16	17	10	10

Примечание: обилие видов: Sol – единично, Sp1 – изредка, Sp2 – довольно редко, Sp3 – часто, Cop1 – довольно много
Note: abundance of species: Sol – single, Sp1 – occasional, Sp2 – quite rare, Sp3 – often, Cop1 – quite a lot

Один из показателей состояния природного фитоценоза – проективное покрытие поверхности почвы растениями варьирует от 30 до 60 %, что свидетельствует о разном уровне пастбищной нагрузки на растительный покров.

Биологическая урожайность надземной фитомассы исследуемых растительных ассоциаций, полученная в период максимального развития травостоя, находящегося практически под

круглогодичным режимом пастбищного использования, составляет в среднем 7,0 ц/га воздушно-сухой массы, соответственно, пастбище-хозяйственная урожайность (80 % от биологической) равна 5,6 ц/га. С учетом низкой поедаемости корма – до 50 %, урожайность сухой поедаемой массы в среднем составляет 2,8 ц/га, с колебаниями от 2,0 до 3,0 ц/га.

Растением доминантом в растительных ассоциациях является ранневесенний, хорошо

поедаемый всеми животными злак – мятлик луковичный (*Poa bulbosa*), имеющий короткий вегетационный период и формирующий основной подножный корм при выпасе животных в весенний период. В тоже время, данный кормовой злак, чрезвычайно стойкий к пастбищным перегрузкам, является индикатором деградации пастбищных угодий.

В летний период выпаса животных, данные травостои особенно малопродуктивны, так как, два других содоминирующих в травостое многолетних вида – полыни австрийская (*Artemisia austriaca*) и Лерха (*Artemisia lerchiana*) являются пастбищным кормом преимущественно в осенне-зимний период выпаса животных. К тому же, видовое разнообразие степных сообществ в значительной мере представлено пастбищными или пасквальными сорняками: бурячок пустынный (*Alyssum desertorum*), костер японский (*Bromus japonicas*), рогоплодник песчаный (*Ceratocarpus arenarius*), хондрилла ситниковидная (*Chondrilla juncea*) и ряд других, имеющих низкое кормовое качество или вовсе непоедаемые животными.

Из-за длительной бессистемной пастбы многомиллионного поголовья овец и скота в прошлом и продолжающимся нерегулируемым выпасом в настоящем в травостоях утеряны целинные злаки-доминанты, являющиеся ценозообразователями и составляющими основу корма для животных. Виды семейства бобовых (важный источник протеинового компонента) практически отсутствуют в травостое. Для получения высоких привесов животные не могут питаться только полынью, различными видами солянок и сорными травами плохой поедаемости, избыточными в рассматриваемых фитоценозах.

К сожалению, такие или аналогичные им низкопродуктивные травостои занимают значительные площади степных экосистем юга России. Очевидно, что к этому привело истощительное, практически круглогодичное их использование – нерегулируемая нагрузка на единицу площади, численность поголовья, превышающая емкость пастбищного угодья. Животноводам необходимо научиться регулировать выпас животных, в том числе используя систему пастбищеоборота. Иначе, растительный покров степных экосистем будет и далее деградировать, механизмы самовосстановления ослабляться и аграрный ландшафт окончательно разрушится, что приведет, в конечном итоге, к опустыниванию. А это не только потеря кормовой базы для животных, но и ухудшающаяся экологическая ситуация в сельскохозяйственном ландшафте.

Принципы существования природных экосистем, направленные на достижение природного равновесия, когда степная экосистема сохраняет свое стабильное состояние, несмотря на деструктивные факторы воздействия на нее, в данных природно-антропогенных экосистемах не работают. Вполне очевидно, что экологическая устойчивость степных экосистем юга России на фоне разрушительного антропогенного воздействия достигла своего предела.

И здесь важно, сохраняя оставшиеся фрагменты целинной степи и рационально используя их, поэтапно улучшать деградированные травостои и восстанавливать утерянную природную растительность. В стране накоплен большой положительный опыт поверхностного и коренного улучшения и восстановления нарушенных природных экосистем [12]. Стратегия и

тактика обустройства лугопастбищного кормопроизводства на юге России растениями многоцелевого назначения позволяет уйти от стадии примитивного кормодобывания к низкозатратным, экологически безопасным технологиям, позволяющим повысить биоразнообразие травостоев, увеличить сбор высококачественных кормов с луговых и пастбищных угодий.

Для ускоренного решения проблемы восстановления природного биоразнообразия разработан метод агростепей, в основе которого лежит восстановление природной растительности с урожайностью в 3–4 раза выше исходного их состояния, повышение видового богатства травостоев и качества пастбищных кормов [13]. Метод может использоваться в любой почвенно-климатической зоне юга России и доступен всем категориям хозяйств [14]. Его принцип основан на восстановлении природного травостоя при помощи посева смеси семян дикорастущих видов растений, заготовленных комбайнированием на сохранившихся участках целинной степи. При этом восстановленные степи – агростепи в возрасте двух-трех лет позволяют повысить пастбищную нагрузку животных с 0,1 до 0,4–0,6 условных голов на гектар при поедаемости корма, равной 80–90 %. Это реальный способ достичь природного равновесия, в том числе, повысить качество непродуктивных травостоев, утративших способность к самовосстановлению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научный подход к устойчивому развитию, сохранению и воспроизводству потенциала природных экосистем для эффективного ведения животноводства и сохранения экологического равновесия в сельскохозяйственных ландшафтах предполагает достижение гармонии между человеком и природой, экономикой и экологией, и он должен строиться на:

1) рациональном использовании сохранившихся степных травостоев, имеющих ценное кормовое ядро дикорастущей флоры таких злаков, как: овсяница валлиская, келерия стройная, житняк ширококолосый и др.;

2) мониторинге естественных степных экосистем, в том числе природно-антропогенных растительных сообществ с использованием ГИС-технологий, включающих:

– наблюдение за состоянием растительного покрова и получение оперативной информации;

– оценку и прогноз возможных изменений в степных экосистемах;

– консультации сельхозпроизводителей, выработке решений и разработке рекомендаций по улучшению (восстановлению) агроэкосистем;

3) ускоренном восстановлении эродированных пастбищных угодий, и прежде всего аридной зоны, занимающих сотни гектаров и нуждающихся в неотложной помощи.

Вполне очевидно, что в основе эффективного проведения мероприятий по улучшению (восстановлению) и рациональному использованию степных экосистем недостаточно научной оценки современного состояния природных экосистем и сельскохозяйственных ландшафтов. Необходим комплексный подход к этой сложнейшей хозяйственно-экономической задаче, а это наличие материально-технической базы у сельхозпотребителя, создание семенников и поэтапное восстановление лучших

моделей зональных травостоев, но главное, в этом вопросе – господдержка. Финансовое обеспечение всех работ, связанных с устойчивым развитием, сохранением и воспроизводством потенциала природных экосистем в сельскохозяйственных ландшафтах юга России должно быть устойчивым и долгосрочным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Trukhachev V.I., Sklyarov I.Yu., Sklyarova Yu.M. Current status of resource potential of agriculture in the South of Russia // *Montenegrin Journal of Economics*. 2016. V. 12. N 3. P. 115–126.
2. Лазарева В.Г., Бананова В.А., Нгуен В.З. Динамика современной растительности при пастбищном использовании в Северо-Западном Прикаспии // *Аридные экосистемы*. 2020. Т. 26. N 4(85). С. 26–34.
3. Литвинская С.А. Флорофитоценотическое разнообразие Западного Кавказа // *Юг России: экология, развитие*. 2020. Т. 15. N 1(54). С. 37–48. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-1-37-48>
4. Шамсутдинов З.Ш., Шамсутдинов Н.З. О теории и практике экологической реставрации нарушенных пастбищных экосистем в контексте современной концепции экологической ниши // *Труды XXV юбилейного международного научного симпозиума «Нетрадиционное растениеводство. Экологические селекция и биотехнология. Охрана био-ноосферы. Космология. Медицина и геронтология»*, Алушта, 04–11 сентября, 2016. С. 510–521.
5. Шамсутдинов З.Ш., Орловский Н.С., Шамсутдинов Н.З. Научно-методические принципы борьбы с опустыниванием в аридных областях России // *Материалы XXVI международного научного симпозиума «Охрана био-ноосферы и космология. Нетрадиционное растениеводство, селекция и биоземледелие. Экологические экономика, технологии и системы питания. Медицина и геронтология»*, Алушта, 10–17 сентября, 2017. С. 348–360.
6. Конюшкова М.В., Нухимовская Ю.Д., Гасанова З.У. Вариативность засоленности почв и фиторазнообразия разновозрастных участков приморской равнины Прикаспия // *Аридные экосистемы*. 2020. Т. 26. N 4(85). С. 66–75.
7. Шамсутдинов З.Ш., Шамсутдинов Н.З., Орловский Н.С., Шамсутдинова Э.З. Биогеоценотические принципы реставрации пастбищ в Центральноазиатской пустыне // *Вестник Российской академии наук*. 2021. Т. 91. N 3. С. 273–282. <https://doi.org/10.31857/S0869587321030087>
8. Yovchevska P. Synergy between the biological factor and the institutional environment in agriculture // *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2021. V. 27. N 2. P. 237–241.
9. Burlutskii V., Mazurov V., Borodina E. Productivity and development of secondary phytocenoses for hay fields of the central economic region in the non-chernozem zone of the Russian Federation // *Research on Crops*. 2021. V. 22. N 3. P. 727–736. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.124>
10. Шаповалов Д.А., Ключин П.В., Савинова С.В. Экологические проблемы сельскохозяйственного землепользования в Ставропольском крае // *Аридные экосистемы*. 2020. Т. 26. N 2(83). С. 57–62.
11. Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС). URL: <http://fedstat.ru/indicator/33915> (дата обращения: 12.12.2021)
12. Гребенников В.Г., Шипилов И.А., Хонина О.В., Ашибокова Л.П. Способы улучшения пастбищ в засушливых районах // *Аграрная наука*. 2021. N 7–8. С. 81–84. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-351-7-8-81-84>
13. Дзыбов Д.С. К системному фитотехнологическому решению эколого-природоохранного и хозяйственного проблем Терско-Кумской полупустыни в Восточном Предкавказье // *Экологический вестник Северного Кавказа*. 2018. Т. 14. N 2. С. 36–51.
14. Ерошенко Ф.В., Барталев С.А., Лапенко Н.Г., Самофал Е.В., Сторчак И.Г. Возможности дистанционной оценки состояния и степени деградации природных кормовых угодий // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2018. Т. 15. N 7. С. 53–66. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-7-53-66>

REFERENCES

1. Trukhachev V.I., Sklyarov I.Yu., Sklyarova Yu.M. Current status of resource potential of agriculture in the South of Russia. *Montenegrin Journal of Economics*. 2016, vol. 12, no. 3, pp. 115–126.
2. Lazareva V.G., Bananova V.A., Nguen V.Z. Dynamics of modern vegetation in pasture use in the north-western Caspian region. *Aridnye ekosistemy [Arid Ecosystems]*. 2020, vol. 26, no. 4(85), pp. 26–34. (In Russian)
3. Litvinskaya S.A. Florophytocenotic Diversity of the Western Caucasus. *South of Russia: ecology, development*, 2020, vol. 15, no. 1(54), pp. 37–48. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-1-37-48>
4. Shamsutdinov Z.Sh., Shamsutdinov N.Z. O teorii i praktike ekologicheskoi restavratsii narushennykh pastbishchnykh ekosistem v kontekste sovremennoi kontseptsii ekologicheskoi nishi [On the theory and practice of ecological restoration of disturbed pasture ecosystems in the context of the modern concept of ecological niche]. *Trudy XXV yubileynogo mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma «Netraditsionnoe rastenievodstvo. Ekologichnye selektsiya i biotekhnologiya. Okhrana bio-noosfery. Kosmologiya. Meditsina i gerontologiya»*, Alushta, 04–11 sentyabrya 2016 [Proceedings of the XXV anniversary International Scientific Symposium “Non-traditional plant growing. Eco-friendly breeding and biotechnology. Protection of the bio-noosphere. Cosmology. Medicine and Gerontology”, Alushta, 04–11 September 2016]. Alushta, 2016, pp. 510–521. (In Russian)
5. Shamsutdinov Z.Sh., Orlovskii N.S., Shamsutdinov N.Z. Nauchno-metodicheskie principy bor'by s opustynivaniem v aridnykh oblastyakh Rossii [Scientific and methodological principles of combating desertification in arid regions of Russia]. *Materiyaly XXVI mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma «Okhrana bio-noosfery i kosmologiya. Netraditsionnoe rastenievodstvo, selektsiya i biozemledelie. Ekologichnye ekonomika, tekhnologii i sistemy pitaniya. Meditsina i gerontologiya»* Alushta, 10–17 sentyabrya 2017 [Materials of the XXVI International Scientific Symposium “Protection of the bio-noosphere and cosmology. Non-traditional crop production, breeding and bio-farming. Eco-friendly economy, technologies and power systems. Medicine and Gerontology”, Alushta, 10–17 September 2017]. Alushta, 2017, pp. 348–360. (In Russian)
6. Konyushkova M.V., Nuhimovskaya Ju.D., Gasanova Z.U. Variability of soil salinity and phyto-diversity of different age areas of the coastal plain of the Caspian region.

- Aridnye ekosistemy [Arid Ecosystems]. 2020, vol. 26, no. 4(85), pp. 66–75. (In Russian)
7. Shamsutdinov Z.Sh., Shamsutdinov N.Z., Orlovskii N.S., Shamsutdinova E.Z. Biogeocenotic principles of pasture restoration in the Central Asian desert. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 2021, vol. 91, no. 3, pp. 273–282. (In Russian)
<https://doi.org/10.31857/S0869587321030087>
8. Yovchevska P. Synergy between the biological factor and the institutional environment in agriculture. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2021, vol. 27, no. 2, pp. 237–241.
9. Burlutskii V., Mazurov V., Borodina E. Productivity and development of secondary phytocenoses for hay fields of the central economic region in the non-chernozem zone of the Russian Federation. *Research on Crops*, 2021, vol. 22, no. 3, pp. 727–736. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.124>
10. Shapovalov D.A., Klyushin P.V., Savinova S.V. Ecological problems of agricultural land use in the Stavropol Territory. *Aridnye ekosistemy [Arid Ecosystems]*. 2020, vol. 26, no. 2(83), pp. 57–62. (In Russian)
11. *Edinaya mezhvedomstvennaya informacionno-statisticheskaya sistema* [Unified interdepartmental information and statistical system]. Available at: <http://fedstat.ru/indicator/33915> (accessed 12.12.2021)
12. Grebennikov V.G., Shipilov I.A., Khonina O.V., Ashibokova L.R. Ways to improve low-yielding hayfields and pastures in arid areas. *Agricultural science*, 2021, no. 7–8, pp. 81–84. (In Russian)
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-351-7-8-81-84>
13. Dzybov D.S. To the system phytotechnological solution of ecological, environmental and economic problems of the Tersk-Kum semi-desert in the Eastern Caucasus. *Ekologicheskii vestnik Severnogo Kavkaza [Ecological Bulletin of the North Caucasus]*. 2018, vol. 14, no. 2, pp. 36–51. (In Russian)
14. Eroshenko F.V., Bartalev S.A., Lapenko N.G., Samofal E.V., Storchak I.G. Possibilities of remote assessment of the state and degree of degradation of natural forage lands. *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*, 2018, vol. 15, no. 7, pp. 53–66. (In Russian)
<https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-7-53-66>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Нина Г. Лапенко, Олеся В. Хонина собрали материал в ходе геоботанических обследований, провели исследование. Мария А. Старостина обработала полевые данные. Александр И. Суров, Нина Г. Лапенко, Олеся В. Хонина, Лусине Р. Оганян обработали и проанализировали экспериментальные данные, написали рукопись. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Nina G. Lapenko and Olesya V. Khonina collected the material during geobotanical surveys and conducted research. Mariya A. Starostina processed the field data. Alexander I. Surov, Nina G. Lapenko, Olesya V. Khonina and Lusine R. Oganyan processed and analysed experimental data and wrote the manuscript. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Александр И. Суров / Alexander I. Surov <https://orcid.org/0000-0002-3892-6621>

Нина Г. Лапенко / Nina G. Lapenko <https://orcid.org/0000-0003-3856-690X>

Олеся В. Хонина / Olesya V. Khonina <https://orcid.org/0000-0002-8509-862X>

Лусине Р. Оганян / Lusine R. Oganyan <https://orcid.org/0000-0002-0019-8956>

Мария А. Старостина / Mariya A. Starostina <https://orcid.org/0000-0003-0086-4258>

Оригинальная статья / Original article
УДК 574:502.5 (571.17)
DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-11



Почвенно-экологическая оценка техногенно нарушенного ландшафта в районе отвала угольного разреза

Ирина В. Тимошук, Людмила К. Асякина, Алена К. Горелкина, Мария А. Осинцева,
Юлия В. Голубцова, Ирина С. Миленьева
Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

Контактное лицо

Алена К. Горелкина, доктор технических наук, профессор, кафедра техносферной безопасности, Кемеровский государственный университет; 650000 Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6.
Тел. +79133079935
Email alengora@yandex.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3782-2521>

Формат цитирования

Тимошук И.В., Асякина Л.К., Горелкина А.К., Осинцева М.А., Голубцова Ю.В., Миленьева И.С. Почвенно-экологическая оценка техногенно нарушенного ландшафта в районе отвала угольного разреза // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 1. С. 105-113. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-11

Получена 19 мая 2022 г.
Прошла рецензирование 14 июня 2023 г.
Принята 25 сентября 2023 г.

Резюме

Цель – изучить почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов Кузбасса на примере отвалов угольных разрезов. Образцы почв, отобранные в местах с нарушенным ландшафтом, вследствие действия угольной промышленности, а именно внешний отвал участка угольный разрез в районе с. Заринское Беловского района Кемеровской области на юго-востоке Западной Сибири. Определение показателей проводили в соответствии с ГОСТами. Проведена диагностика поверхности отвалов угольного разреза. Определены основные физические и химические показатели, по которым оценена возможность почвообразования и биологической рекультивации. Анализируя химический состав, определяли следующие показатели: водный pH, гидролитическая кислотность, общая щелочность, сухой остаток, зольность, содержание гумуса, содержание ионов: Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Ca^2 , Mg^{2+} , Al^{3+} , также исследованы физические показатели степени пригодности грунтов для рекультивации, такие как гигроскопическая влажность, влажность завядания, плотность почвы, пористость почвы. Полученные результаты позволяют охарактеризовать техногенно нарушенные участки, как ограниченно благоприятные для роста растений по физическим и химическим свойствам, которые могут быть использованы для биологической рекультивации после агротехнических мероприятий.

Ключевые слова

Техногенный ландшафт, агрофизические, агрохимические и микробиологические показатели.

Soil and ecological assessment of the technogenically disturbed landscape in the area of a coal mine dump

Irina V. Timoshchuk, Ludmila K. Asyakina, Alena K. Gorelkina, Maria A. Osintseva,

Julia V. Golubtsova and Irina S. Milentyeva

Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

Principal contact

Alena K. Gorelkina, Ph.D. (Engineering Science),
Professor, Department of Technosphere Safety,
Kemerovo State University; 6 Krasnaya St,
Kemerovo, Russia 650000.

Tel. +79133079935

Email alengora@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3782-2521>

How to cite this article

Timoshchuk I.V., Asyakina L.K., Gorelkina A.K.,
Osintseva M.A., Golubtsova Ju.V., Milentyeva I.S.
Soil and ecological assessment of the
technogenically disturbed landscape in the area of
a coal mine dump. *South of Russia: ecology,
development*. 2024; 19(1):105-113. (In Russ.) DOI:
10.18470/1992-1098-2024-1-11

Received 19 May 2023

Revised 14 June 2023

Accepted 25 September 2023

Abstract

Study of the soil-ecological state of technogenic landscapes of Kuzbass through the example of coal mine dumps.

Soil samples were taken in places with disturbed landscapes due to the action of the coal industry, namely the external dump on the site of the coal mine in the area of the village of Zarinskoye, Belovsky district, Kemerovo region in the south-east of Western Siberia. The indicators were determined in accordance with GOST standards.

Diagnostics of the surface of the coal mine dump were carried out. The main physical and chemical indicators were determined, according to which the possibility of soil formation and biological reclamation was assessed. In analyzing chemical composition, the following indicators were determined: aqueous pH, hydrolytic acidity, total alkalinity, dry residue, ash content, humus content and ion content (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Ca^2 , Mg^{2+} , Al^{3+}). Physical indicators of the degree of suitability of soils for reclamation, such as hygroscopic moisture, soil moisture, soil density and soil porosity, were also studied.

The results obtained allow us to characterise the technogenically disturbed areas in terms of physical and chemical properties as being limitedly favourable for plant growth, which can be used for biological reclamation following agrotechnical activity.

Key Words

Technogenic landscape, agrophysical, agrochemical and microbiological indicators.

ВВЕДЕНИЕ

Ресурсориентированная экономика Кузбасса формирует ряд экологических проблем, одной из которых для угледобывающего региона является большое количество земель, нарушенных горными разработками, площади отвалов вскрышных и углевлещающих пород составляют несколько сотен гектаров. В результате разрастания техногенных ландшафтов (по оценке почвенно-экологической эффективности 70 % поверхности отвалов Кузбасса представляют собой техногенную пустыню [1; 2]) негативному влиянию подвергаются не только массивы хозяйственно значимых земель, но и нарушаются экосистемные процессы за счет влияния на функциональные связи компонентов экосистемы и здоровье населения прилегающих территорий. Токсичные компоненты вскрышных пород попадают в миграционные циклы [3].

Техногенные ландшафты коренным образом отличаются от естественных природных практически по всем составляющим – эдафическим, экологическим, биологическим, биохимическим и т.д. Минимизация отрицательных экологических последствий функционирования техногенных ландшафтов может быть достигнута при развитии почвообразовательных процессов на поверхности отвалов. Естественное восстановление ландшафтов, в первую очередь формирование почвенного и растительного покрова, происходит в течение длительного периода времени, а некоторые участки не могут поддерживать восстановительную сукцессию. Крайне низкие темпы естественных сукцессионных процессов определяют необходимость содействия восстановлению нарушенных посттехногенных ландшафтов [4].

Проведение рекультивационных мероприятий в значительной степени ускорит процесс включения посттехногенных территорий в окружающий биогеоценоз. В современной практике восстановления антропогенно нарушенных территорий применяются различные технологии рекультивации, выбор которых определяется, в том числе, направлением дальнейшего использования территории. Эффективность рекультивации сводится к формированию пригодного для растений корнеобитаемого слоя как начальный этап сукцессии [5; 6].

Согласно современным требованиям нормативных документов (СП 11-102-97), при выполнении инженерно-экологических изысканий на объектах, где формируются нарушенные земли (карьеры, отвалы, хвостохранилища и проч.), необходимо выполнять оценку потенциального плодородия грунтов, которые могут служить рекультивационным материалом.

Для оценки возможности освоения техноземов необходима информация о состоянии техногенно нарушенного участка, а именно такие важные физические характеристики как гигроскопическая влажность, влажность завядания, плотность почвы, пористость почвы [7; 8].

Пористость зависит от гранулометрического состава, структурности, содержания органических веществ. Показатели пористости колеблются в широких пределах – от 0,5–3 % (у скальных грунтов из магматических и метаморфических пород) до 90 % (у

торфа). От пористости в значительной степени зависит плодородие почвы.

Влажность субстрата является одним из важнейших факторов восстановления и функционирования техногенно нарушенных экосистем, одним из главных факторов, влияющих на скорость зарастания.

Основными химическими показателями степени пригодности грунтов для рекультивации являются: pH; сухой остаток, %; сумма токсичных солей, % в водной вытяжке; $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$, % в солянокислой вытяжке; CaCO_3 , %; Al подвижный, мг/100 г; Na, % от емкости поглощения; гумус, % [2].

Реакция среды (pH) – определяет миграцию и аккумуляцию веществ, в том числе, токсичных, в почве, микробиологическую активность, воздействует на способность растений поглощать из почвы питательные вещества.

Сухой остаток позволяет оценить степень засоления грунта т. е. избыточное скопление в корнеобитаемом слое растворенных или поглощенных солей, которые угнетают или губят растения, снижая биологическую рекультивацию.

Содержание гумуса. Совокупность органических веществ, находящихся в виде гумуса, представляет комплекс сложных химических органических веществ биогенного происхождения и является биологическим показателем плодородия почвы. Органические вещества регулируют расход элементов питания, предотвращая непроизводительные потери от вымывания, образования газообразных продуктов и труднорастворимых минеральных соединений [9].

Необходимо определять также содержание фитотоксичных веществ в отвалах, так как их высокое содержание в почве не позволяет использовать ее для биологической рекультивации.

Анализ физических и химических показателей техногенно нарушенных ландшафтов позволяет оценить возможность биологической рекультивации [10].

Целью работы является изучение почвенно-экологического состояния техногенных ландшафтов Кузбасса на примере отвалов угольных разрезов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследования в настоящей работе были выбраны образцы почв, отобранные в местах с нарушенным ландшафтом, вследствие действия угольной промышленности, а именно внешний отвал участка угольного разреза в районе с. Заринское Беловского района Кемеровской области (координаты места отбора образцов: 53°51' северной широты, 87°21' восточной долготы). Для территории географического расположения объекта (юго-востока Западной Сибири) характерны чернозёмно-солонцеватые типы почв.

Отбор образцов почв на техногенно нарушенных территориях. Пробы почвы отобраны из поверхностного слоя отвала в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02–2017, для этого на территории исследования выделяли 5 зон, в каждой зоне отбирали 4 пробы почв. Отбор пробы проводили по принципу «конверта»: отбирали пробы по «углам» территории и одну пробу из «центра» изучаемой территории. Глубина отбора пробы составляла 0–10 см, масса отбираемой пробы составляла 0,5–1 кг.

Определение гигроскопической влажности проводили весовым методом в соответствии с ГОСТ 28268-89, плотность твердой фазы – в соответствии с ГОСТ Р 53380-2009, контроль водородного показателя образцов грунта проводили потенциометрическим титрованием фильтрата согласно ГОСТ Р 58594-2019 и ГОСТ 26212-91. Для определения сухого остатка применяли весовой метод, кондуктометрический метод использовали при исследовании общей засоленности ГОСТ Р 59540-2021, идентификацию и полуколичественное определение минералов тонкодисперсной фракции грунта проводили посредством рентгенодифрактометрического анализа, фотоэлектроколориметрическим методом определяли содержание органических веществ по ГОСТ 26213-91, содержание ионов – по гостированными методиками: хлорид-ионов – по ГОСТ 17.5.4.02-84, сульфат-иона – по ГОСТ 26426-85, ионов карбоната и бикарбоната – по ГОСТ 26424-85, ионов кальция и магния – по ГОСТ 26428-85, подвижного алюминия – по ГОСТ 26485-85, цинка,

меди, никеля, марганца – по М-МВИ-80-2008, мышьяка – по ФР.131.2005.02119-МУ 31-11/05.

Статистическая обработка результатов анализа производили в соответствии с ГОСТ 20522-2012 «Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний».

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выполнены оценка характера почв и анализ пригодности почв для дальнейшего использования. Кодировка исследованных образцов почв представлена в таблице 1.

Определяемые показатели в параллельно отобранных анализируемых образцах одной зоны существенных различий не имели, что позволяет в дальнейшем приводить средние значения показателей для каждой зоны отбора.

На основе рентгенодифракционного анализа изучен минералогический состав грунта отвалов вскрышных пород (рис. 1, табл. 2).

Таблица 1. Кодировка исследуемых образцов почв

Table 1. Coding of soil samples studied

Характеристика места отбора Characteristics of the sampling location	Зоны отбора Sampling area	Сокращённое наименование Abbreviated name
Образцы почвы отобраны с поверхностного слоя отвала (М) Soil samples were taken from the surface layer of the dump (M)	a	Ma-1, Ma-2, Ma-3, Ma-4 (Ma-ср)
	b	Mb-1, Mb-2, Mb-3, Mb-4 (Mb-ср)
	c	Mc-1, Mc-2, Mc-3, Mc-4 (Mc-ср)
	d	Md-1, Md-2, Md-3, Md-4 (Md-ср)
	e	Me-1, Me-2, Me-3, Me-4 (Me-ср)



Рисунок 1. Дифрактограмма образцов почв отвала

Figure 1. Diffractogram of soil samples of the dump

Таблица 2. Химический состав образцов почв отвала (Зона отбора – Ма среднее)

Table 2. Chemical composition of soil samples of the dump (Sampling location Ma average)

Химическое соединение / Chemical compound	Массовая доля, % / Mass fraction, %
Cr ₂ O ₇ P ₂	32,01±1,24
Al ₂ S ₃	13,37±0,64
ZrSi	11,28±0,62
CeMnNi ₄	10,04±0,23
FeGa ₃	9,06±0,45
Na _{0,5} S ₂ Ti	7,60±0,52
Mg ₁₇ Ce ₂	5,78±0,01
DyB ₂ C ₂	3,79±0,05
CaCO ₃	3,09±0,04
LaNbO ₄	2,29±0,03
CaAu ₅	1,01±0,06
CePd ₃ As ₂	0,67±0,01

Примечание: *н/о – не определено

Note: n/a – not defined

В соответствии с данными, приведёнными в таблице 2, в состав образцов почв входили минералы, интерметаллиды и неорганические соли (пирофосфат хрома ($\text{Cr}_2\text{O}_7\text{P}_2$), сульфид алюминия (Al_2S_3), силицид циркония (ZrSi), карбид дибордиспрозия (DyB_2C_2), карбонат кальция (CaCO_3), ниобат лантана (LaNbO_4), тетраникельцериймарганец (CeMnNi_4), тригаллийжелезо (FeGa_3), сульфид титаннатрия ($\text{Na}_0,5\text{S}_2\text{Ti}$), гептадекамагнийдицерий ($\text{Mg}_{17}\text{Ce}_2$), аурид кальция (CaAu_5), арсенид церийтрипалладия (CePd_3As_2). По результатам исследования во всех образцах почв обнаружен пирофосфат хрома ($\text{Cr}_2\text{O}_7\text{P}_2$) в максимальном количестве. В зонах отбора Mb–1 и Mc–3 не обнаружен карбонат кальция (CaCO_3).

Оценка рекультивационного потенциала проводится с учётом физических и химических характеристик. Результаты исследований физических характеристик образцов почв приведены в таблицах 3, 4. Высокая гигроскопичность образцов (среднее значение составило 4,33 %), влажность завядания (среднее значение составило 6,50 %), характерны для глинистых почв, что подтверждается также значением влагоёмкости (для всех проб значение отличалось незначительно и в среднем составило 31,13 %) (ГОСТ 25100-2020).

Плотность твёрдой фазы, плотность почвы и пористость имеют значения, характерные для минеральных суглинистых и глинистых горизонтов почв [11–13].

В ходе исследования были проанализированы некоторые химические показатели степени пригодности грунтов для рекультивации, результаты анализа представлены в таблице 5.

Анализируя полученные данные, можно предположить, что все образцы грунта, отобранные с поверхностного слоя отвала угольного разреза относятся к щелочным почвам ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ до 8,5). Емкость катионного обмена для образцов составила $94,46 \pm 8,50$ мг-экв. на 100 г почвы, что позволяет предположить большую концентрацию катионов, которые могут быть вытеснены из почвы в почвенный раствор, при этом значение общей щелочности позволяет отнести исследуемый грунт к солонцеватым почвам ($2,3204$ мг-экв. на 100 г), и показывает содержание в почве ионов натрия, излишнее содержание которых оказывает негативное влияние на развитие растений и микроорганизмов.

Содержание растворимых в воде органических и минеральных соединений в пробах достаточно высокое – среднее значение сухого остатка составило 0,95 %.

Минеральную часть почвенного раствора исследовали по анионной и катионной составляющим. Примерный состав обменных катионов и анионов варьируется в зависимости от типа почвы и может значительно отличаться, перечень определяемых катионов и анионов представлен в таблице 5.

Результаты исследований показали высокое содержание бикарбонатов, являющихся одним из компонентов выщелачивания, что также согласуется с данными общей щелочности. Преобладание сульфат-анионов во всех образцах по отношению к хлоридам, а также высокое содержание бикарбонатов позволяет предположить сульфатно-содовый тип засоления (ГОСТ 25100-2020).

Карбонаты не были обнаружены ни в одном из образцов.

Таблица 3. Результаты определения показателей гигроскопичности и влажности завядания в образцах почв отвала
Table 3. Results of determination of hygroscopicity and moisture in soil samples of the dump

Зона отбора Selection area	Гигроскопическая влажность, % Hygroscopic humidity, %	Коэффициент		Максимальная гигроскопичность, % Maximum hygroscopicity, %	Влажность завядания, % Soil moisture, %
		гигроскопической влажности Hygroscopic humidity coefficient			
Ma–cp	2,76±0,24	1,0284±0,0934		4,35±0,39	4,35±0,39
Mb–cp	2,65±0,23	1,0272±0,0923		4,36±0,39	4,36±0,39
Mc–cp	2,44±0,22	1,0254±0,0925		4,43±0,39	4,43±0,39
Md–cp	3,18±0,28	1,0336±0,0933		4,28±0,38	4,28±0,38
Me–cp	1,86±0,16	1,0193±0,0922		4,35±0,38	4,33±0,38
Среднее значение Average value	2,58±0,23	1,0274±0,0922		4,33±0,39	6,50±0,58

Таблица 4. Результаты определения плотности и пористости в образцах почв отвала
Table 4. Results of determination of density and porosity in soil samples of the dump

Зона отбора Sampling area	Плотность твёрдой фазы, г/см ³ Density of solid phase, g/cm ³		Плотность почвы, г/см ³ Soil density, g/cm ³	Пористость почвы, % Soil porosity, %
Ma–cp	2,686±0,242		1,448±0,130	46,09±4,14
Mb–cp	2,747±0,247		1,526±0,137	44,44±4,00
Mc–cp	2,648±0,238		1,434±0,129	45,84±4,12
Md–cp	2,638±0,237		1,421±0,128	46,13±4,15
Me–cp	2,668±0,240		1,442±0,130	45,95±4,13
Среднее значение Average value	2,663±0,240		1,456±0,131	45,29±4,07

Таблица 5. Минимальные и максимальные значения химических показателей потенциального плодородия образцов почв отвала**Table 5.** Minimum and maximum values of chemical indicators of potential fertility of soil samples of the dump

	Наименование грунта	Минеральный суглинистый и глинистый
	Soil components	Mineral loamy and clayey
Показатели химического состава Chemical composition indicators	Водный pH Water pH	8,20–8,56
	Гидролитическая кислотность, мг-экв. на 100 г Hydrolytic acidity, mg-eq./ 100g	0,0425–0,0573
	Общая щелочность, мг-экв. на 100 г Total alkalinity, mg-eq./ 100 g	2,1368–2,4952
	Сухой остаток, % Dry residue, %	0,96–0,93
	Зольность, % Ash content, %	82,94–83,87
	Содержание гумуса, % Humus content, %	1,531–1,705
	Содержание Cl⁻, мг-экв. на 100 г почвы Content Cl ⁻ , mg-eq. / 100 g soils	0,0051–0,0062
	Содержание SO₄²⁻, мг-экв. на 100 г почвы Content , SO ₄ ²⁻ mg-eq. / 100 g soils	66,4787–64,1681
	Содержание HCO₃⁻, ммоль в 100 г почвы Content HCO ₃ ⁻ , mmol /100 g soils	2559,17–2560,84
	Содержание Ca²⁺, мг-экв. на 100 г почвы Content, Ca ²⁺ mg-eq. / 100 g soils	0,0143–0,0167
	Содержание Mg²⁺, мг-экв. на 100 г почвы Content, Mg ²⁺ mg-eq. / 100 g soils	0,0103–0,0115
	Обменный (подвижный) Al³⁺, ммоль на 100 г почвы Exchangeable (mobile) Al ³⁺ mmol /100g soils	0,0130–0,0572

Исследуя содержание катионов кальция и магния в почве (среднее значение ионов кальция составило 0,0150 мг-экв. на 100 г почвы; среднее значение ионов магния составило 0,0109 мг-экв. на 100 г почвы) нужно отметить, что оно характерно для засоленных почв.

Обменный алюминий в пробах изучается как физиологически токсичный катион, для исследуемых образцов содержание его в пробах незначительное.

Необходимыми элементами, определяющими потенциал почвообразования является:

- азот, а именно его аммонийная и нитратная формы, азот может также повышать токсичность почвы при содержании азота выше ПДК. Исследуемые образцы по содержанию аммонийного азота не превышают 5 мг/кг, а нитратный азот ($\leq 2,8$ мг/100г) значительно ниже нормы установленной СанПиН 1.2.3685-21 (13мг/100г) [14];

- фосфор, участвует в метаболических процессах, таких как фотосинтез, передача энергии, синтез и расщепление углеводов, но при содержании, превышающем норматив, избыток фосфора приводит к образованию избыточного количества солей из-за чего

происходит насыщение грунта солями. Растения в таких условиях утрачивают возможность нормально проводить обмен веществ, к примеру, из химических реакций полностью выпадает железо. Исследуемые образцы по содержанию фосфора значительно превышали норматив (≤ 130 мг/кг) СанПиН 1.2.3685-21 (≤ 27 мг/кг).

Вскрышные породы как вид промышленных отходов, являются источником токсичных элементов, что обуславливает общую загрязненность почвы, оценить которую можно по валовому содержанию тяжелых металлов, исследование их содержания во всех представленных образцах приведено в таблице 6. Согласно Федеральному закону РФ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (№ 52-ФЗ от 30 марта 1999 г) наблюдается превышение содержания в почве цинка и меди (ПДК цинка = 23,00 мг/кг; ПДК меди = 3,00 мг/кг), выявлено превышение содержания никеля (ПДК = 4,00 мг/кг), а содержание марганца (ПДК = 1500,00 мг/кг) в образцах не превышено [15; 16].

Таблица 6. Результаты определения валового содержания некоторых тяжёлых металлов в образцах**Table 6.** Results of determination of gross content of certain heavy metals in samples

Металл Metal	Цинк Zinc	Медь Copper	Никель Nickel	Марганец Manganese	Мышьяк Arsenic	Ртуть Mercury
Содержание, мг/кг Content, mg/kg	47,58±3,81	18,41±1,47	24,20±2,10	671,53±53,72	2,33±0,21	0,018±0,002

Допустимая концентрация мышьяка (≤ 2 мкг/кг), по результатам исследования, превышена, а содержание ртути значительно ниже ПДК ($\leq 2,100$ мкг/кг).

Оценка загрязнения почвы по санитарно-эпидемиологическим показателям проведена в соответствии с показателями СанПиН 1.2.3685-21. По степени

микробиологического состояния почвы классифицируются по индексу бактерий группы кишечной палочки (БГКП): 1–9 КОЕ/г – допустимая, 10–99 – умеренно-опасная, более 100 – опасная. Согласно полученным данным исследуемые образцы можно отнести к умеренно-опасной категории с индексом БГКП 70,73 КОЕ/г. По остальным показателям (Индекс энтерококков, Патогенные энтеробактерии родов *Salmonella* и *Shigella*) все исследуемые образцы не имеют отклонений от СанПиН.

Ни в одном из исследуемых образцов не обнаружены яйца, личинки гельминтов, цисты кишечных патогенных простейших, а также личинки и куколки синантропных мух (СанПиН 2.1.3684-21).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Почву, отобранную на территории угольного разреза, можно отнести к глинистым почвам. Щелочная реакция водной вытяжки (рН 8,33) будет препятствовать произрастанию культур, используемых на биологическом этапе рекультивации, как и низкое содержание органических веществ (1,62 %), которое снижает выживаемость культур, используемых на этом этапе.

Отмечается превышение содержания некоторых фитотоксичных элементов, устойчивых к деградации, и в значительной степени снижающих эффективность биологической рекультивации. Содержание подвижной формы фосфора превышало ПДК в 4,84 раза; цинка в 2,06 раза; меди в 6,13 раз; никеля в 6,06 раз; мышьяка в 1,17 раз. Остальные показатели либо не нормируются, либо не превышали ПДК.

Полученные результаты позволяют охарактеризовать исследуемые образцы почв, отобранные на внешнем отвале участка угольного разреза как ограниченно благоприятные для роста растений (ГОСТ Р 59070-2020. «Национальный стандарт Российской Федерации. Охрана окружающей среды. Рекультивация нарушенных и нефтезагрязненных земель. Термины и определения») по физическим и химическим свойствам, при этом участок может быть использован для рекультивации после агротехнических мероприятий [18–20].

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа ведется в рамках Распоряжения Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. №1144-р, комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» («Чистый уголь – зеленый Кузбасс»), мероприятие 3.1 «Экополигон мирового уровня технологий рекультивации и ремедиации» при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 075-15-2022-1200 от 28.09.2022 г.)

ACKNOWLEDGMENT

The work is carried out within the framework of the Decree of the Government of the Russian Federation dated 11.05.2022 No. 1144-r, a comprehensive scientific and technical programme of the complete innovation cycle

"Development and implementation of a complex of technologies in areas of exploration and extraction of solid minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new products of deep processing from coal raw materials with a consistent reduction of the environmental impact and risks to the population" ("Clean Coal – Green Kuzbass"), event 3.1 "Eco-park of world-class technologies of reclamation and remediation" with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (agreement No. 075-15-2022-1200 dated 28.09.2022).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шипилова А.М., Семина И.С. Особенности физических свойств почв техногенных ландшафтов лесостепной зоны Кузбасса // Известия УГГУ. 2016. N 3(43). С. 25–28. DOI: 10.21440/2307-2091-2016-3-25-28
2. Семина И.С., Беланов И.П., Шипилова А.М. и др. Природно-техногенные комплексы Кузбасса: свойства и режимы функционирования. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. 396 с.
3. Курачев В.М., Андроханов В.А. Классификация почв техногенных ландшафтов // Сибирский экологический журнал. 2002. N 3. С. 255–261.
4. Соколов Д.А., Кулижский С.П., Лойко С.В., Доможакова Е.А. Использование сканирующей электронной микроскопии для диагностики процессов почвообразования на поверхности отвалов каменноугольных разрезов Сибири // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2014. N 3(27). С. 36–52.
5. Андроханов В.А. Некоторые аспекты проблемы рекультивации нарушенных земель // Материалы международной научной конференции «Природно-техногенные комплексы: рекультивация и устойчивое функционирование», Новосибирск, 2013. С. 53–55.
6. Манжина С.А. К вопросу выявления химизма и степени засоления почв: российские и зарубежные практики // Мелиорация и гидротехника. 2021. Т. 11. N 3. С. 163–181.
7. Пендюрин Е., Рыбина С., Смоленская Л., Латыпова М. Исследование некоторых физико-химических показателей искусственно созданных почвосмесей // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24. N 9. С. 27–31. DOI: 10.18412/1816-0395-2020-9-27-31
8. Krasnova T.A., Timoschuk I.V., Gorelkina A.K., Dugarjav J. The choice of sorbent for adsorption extraction of chloroform from drinking water // Foods and Raw materials. 2017. V. 5. N 2. P. 189–196. DOI: 10.21603/2308-4057-2017-2-189-196
9. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. Москва: Агропромиздат, 1986. 415 с.
10. Dyshlyuk L., Asyakina L., Prosekov A. Reclamation of Post-Technological Landscapes: International Experience // Food Processing: Techniques and Technology. 2021. V. 51. N 4. P. 805–818. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-4-805-818
11. Котович А.А., Гуман О.М. Оценка потенциального плодородия делювиальных суглинков Уральского региона для рекультивации нарушенных земель // Известия УГГУ. 2014. Т. 34. N 2. С. 19–24.
12. Беланов И.П., Семина И.С., Шипилова А.М. Почвенно-экологическое состояние естественных ландшафтов в районе интенсивной добычи каменного угля // ГИАБ. 2013. N 10. С. 308–313.

13. Wojcik J. Kształtowanie się wybranych właściwości fizycznych inicjalnych gleb na zwałowisku zewnętrznym KWB «Adamow» // *Inżynieria Środowiska. Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie*. 2003. V. 8. N 2. pp. 217–227.
14. Меньшикова Е.А., Караваева Т.И., Хайрулина Е.А., Митракова Н.В. Особенности грунтов и потенциал восстановления природно-технической системы "Хвостохранилище ЕВРАЗ КГОК" // *Известия ТПУ*. 2021. N 9. С. 54–66.
15. Федотова А.С. Содержание тяжелых металлов в отвалах, образованных вскрышными породами на угольных разрезах // *ГИАБ*. 2006. N 1. С. 200–205.
16. Грошев И.В., Григорьева О.В., Шахматова Т.Н. Экологическая роль тяжелых металлов в формировании биоресурсного потенциала степных экосистем // *Известия ОГАУ*. 2007. N 15-1. С. 29–31.
17. Киреева Н.А., Григориади А.С., Багаутдинов Ф.Я. Фиторемедиация как способ очищения почв, загрязнённых тяжёлыми металлами // *Теоретическая и прикладная экология*. 2011. N 3. С. 4–9.
18. Наджаfoва С.И., Багирова Ч.З. Пути повышения биогенности, ассимиляционного потенциала и плодородия почвенного покрова городских ландшафтов города Сумгаита // *Юг России: экология, развитие*. 2021. Т. 16. N 3. С. 88–94. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-3-88-94
19. Дубовик Д.В., Дубовик Е.В., Шумаков А.В., Ильин Б.С. Содержание микроэлементов в почве в зависимости от способа основной обработки чернозема типичного // *Юг России: экология, развитие*. 2021. Т. 16. N 3. С. 102–107. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-3-102-107
20. Неведров Н.П. Профильное распределение и миграция тяжелых металлов в почвах Курской агломерации (модельные опыты) // *Юг России: экология, развитие*. 2020. Т. 15. N 1. С. 60–68. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-60-68
21. **REFERENCES**
1. Shipilova A.M., Semina I.S. Features of physical properties of soils of technogenic landscapes of the forest-steppe zone of Kuzbass. *News of USGU*, 2016, no. 3(43), pp. 25–28. (In Russian) DOI: 10.21440/2307-2091-2016-3-25-28
2. Semina I.S., Belanov I.P., Shipilova A.M., et al. *Prirodno-tekhnogennyye komplekсы Kuzbassa: svoystva i rezhimy funktsionirovaniya* [Natural and man-made complexes of Kuzbass: properties and modes of operation]. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2013, 396 p. (In Russian)
3. Kurachev V.M., Androkhonov V.A. Classification of soils of technogenic landscapes. *Sibirskii ekologicheskii zhurnal* [Siberian Ecological Journal]. 2002, no. 3, pp. 255–261. (In Russian)
4. Sokolov D.A., Kulizhskii S.P., Loiko S.V., Domozhakova E.A. The use of scanning electron microscopy for the diagnosis of soil formation processes on the surface of dumps of coal sections of Siberia. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* [Bulletin of Tomsk State University. Biology]. 2014, no. 3(27), pp. 36–52. (In Russian)
5. Androkhonov V.A. Nekotorye aspekty problemy rekul'tivatsii narushennykh zemel' [Some aspects of the problem of recultivation of disturbed lands]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Prirodno-tekhnogennyye komplekсы: rekul'tivatsiya i ustoychivoe funktsionirovaniye»*, Novosibirsk, 2013 [Materials of the International Scientific Conference "Natural-technogenic complexes: recultivation and sustainable functioning: collection", Novosibirsk, 2013]. Novosibirsk, 2013, pp. 53–55. (In Russian)
6. Manzhina S.A. On the issue of identifying chemistry and the degree of soil salinity: Russian and foreign practices. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Land reclamation and hydraulic engineering]. 2021, vol. 11, no. 3, pp. 163–181. (In Russian)
7. Pendyurin E., Rybina S., Smolenskaya L., Latypova M. Investigation of some physico-chemical parameters of artificially created soil mixtures. *Ecology and industry of Russia*, 2020, vol. 24, no. 9, pp. 27–31. (In Russian) DOI: 10.18412/1816-0395-2020-9-27-31
8. Krasnova T.A., Timoshik I.V., Gorelkina A.K., Dugarjav J. The choice of sorbent for adsorption extraction of chloroform from drinking water. *Foods and Raw materials*, 2017, vol. 5, no. 2, pp. 189–196 (In Russian) DOI: 10.21603/2308-4057-2017-2-189-196
9. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv* [Methods of investigation of physical properties of soils]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1986, 415 p. (In Russian)
10. Dyshlyuk L., Asyakina L., Prosekov A. Reclamation of Post-Technological Landscapes: International Experience. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2021, vol. 51, no. 4, pp. 805–818. (In Russian) DOI: 10.21603/2074-9414-2021-4-805-818
11. Kotovich A.A., Guman O.M. Assessment of the potential fertility of deluvial loams of the Ural region for recultivation of disturbed lands. *Izvestiya UGGU* [News of USGU]. 2014, vol. 34, no. 2, pp. 19–24. (In Russian)
12. Belanov I.P., Semina I.S., Shipilova A.M. Soil-ecological condition of natural landscapes in the area of intensive extraction of coal. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* [Mining information and analytical bulletin]. 2013, no. 10, pp. 308–313. (In Russian)
13. Wojcik J. Kształtowanie się wybranych właściwości fizycznych inicjalnych gleb na zwałowisku zewnętrznym KWB "Adamow" [Inżynieria Środowiska. Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie]. 2003, vol. 8, no. 2, pp. 217–227.
14. Menshikova E.A., Karavaeva T.I., Khairulina E.A., Mitrakova N.V. Features of soils and the potential for restoration of the natural-technical system "EVRAZ Kachkanar Mining and Processing Plant tailings storage". *Izvestiya TPU* [Izvestia TPU]. 2021, no. 9, pp. 54–66. (In Russian)
15. Fedotova A.S. The content of heavy metals in dumps formed by overburden rocks on coal mines. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* [Mining information and analytical bulletin]. 2006, no. 1, pp. 200–205. (In Russian)
16. Groshev I.V., Grigorieva O.V., Shakhmatova T.N. Ecological role of heavy metals in the formation of bioresource potential of steppe ecosystems. *Izvestiya OGAU* [Izvestia OSAU]. 2007, no. 15–1, pp. 29–31. (In Russian)
17. Kireeva N.A., Grigoriadi A.S., Bagautdinov F.Ya. Phytoremediation as a method of purification of soils contaminated with heavy metals. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and applied ecology]. 2011, no. 3, pp. 4–9. (In Russian)
18. Nadzhafova S.I., Bagirova Ch.Z. Ways to improve biogeneity, assimilation potential and fertility of soil cover

of the urban landscapes of Sumgait city. *South of Russia: ecology, development*, 2021, vol. 16, no. 3, pp. 88–94. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-3-88-94
19. Dubovik D.V., Dubovik E.V., Shumakov A.V., Ilyin B.S. Content of trace elements in the soil of typical chernozem depending on methods of primary tillage. *South of Russia:*

ecology, development, 2021, vol. 16, no. 3, pp. 102–107. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-3-102-107
20. Nevedrov N.P. Profile distribution and migration of heavy metals in the soils of the Kursk agglomeration (model experiments). *South of Russia: ecology, development*, 2020, vol. 15, no. 1, pp. 60–68. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-60-68

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени участвовали в сборе материала, анализе данных, в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

All authors are equally participated in the collection of material and data analysis, in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Ирина В. Тимощук / Irina V. Timoshchuk <http://orcid.org/0000-0002-1349-2812>
Людмила К. Асякина / Ludmila K. Asyakina <http://orcid.org/0000-0003-4988-8197>
Алена К. Горелкина / Alena K. Gorelkina <http://orcid.org/0000-0002-3782-2521>
Мария А. Осинцева / Maria A. Osintseva <http://orcid.org/0000-0002-4045-8054>
Юлия В. Голубцова / Julia V. Golubtsova <http://orcid.org/0000-0002-2958-4172>
Ирина С. Миленьева / Irina S. Milentyeva <http://orcid.org/0000-0002-3536-562X>

Оригинальная статья / Original article

УДК 338.924

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-12



Пространственно-временные трансформации ресурсодобывающих субъектов РФ в 2012–2021 гг.

Юрий В. Петров¹, Борис И. Кочуров²¹Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия²Институт географии Российской академии наук, Москва, Россия**Контактное лицо**

Юрий В. Петров, кандидат географических наук,
кафедра геоэкологии и природопользования,
Тюменский государственный университет;
625003 Россия, г. Тюмень, ул. Осипенко, 2.
Тел. +73452597491

Email y.v.petrov@utmn.ruORCID <https://orcid.org/0000-0002-2443-9750>**Формат цитирования**

Петров Ю.В., Кочуров Б.И. Пространственно-
временные трансформации
ресурсодобывающих субъектов РФ в 2012–2021
гг. // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19,
N 1. С. 114-123. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-
12

Получена 7 июня 2023 г.

Прошла рецензирование 25 августа 2023 г.

Принята 25 сентября 2023 г.

Резюме

Целью является выделение пространственно-временных трансформаций в ресурсодобывающих субъектах РФ за десятилетие 2012–2021 гг. на основе сопоставления материалов налоговых поступлений с данными по исполнению бюджетов.

Материалами исследования послужили сведения Федеральной налоговой службы РФ, форма 1-НОМ, нормативные правовые акты. В качестве поступающих налоговых доходов использованы значения по 2 федеральным налогам: налог на прибыль организаций и налог на доходы физических лиц. Методы исследования: сравнительный, расчётный, картографический.

За рассматриваемый период 13 территорий хотя бы раз были отнесены к группе с высокой сырьевой специализацией, для которых присущи следующие негативные черты реагирования на внешние экономические вызовы:

- не оказалось ни одного субъекта РФ, в котором бы соблюдался рост бюджетных расходов с пропорциональным и большим ростом налоговых поступлений;

- только в 2018 г. для всех территорий был отмечен рост бюджетных расходов с одновременным ростом налоговых поступлений от добычи полезных ископаемых;

- только в 4 субъектах РФ непрерывно увеличивались бюджетные расходы, в то время как у некоторых участников группы на фоне роста сырьевых налоговых поступлений сокращались бюджетные расходы.

В рассмотренный период выявлена высокая экономическая неопределённость и сопутствующая трансформация в региональной политике, что выразилось в изменении числа и состава участников ресурсодобывающих субъектов РФ.

Ключевые слова

Ресурсодобывающий субъект РФ, дифференцированное управление, особенности природопользования, экономическая трансформация ресурсодобывающего субъекта РФ.

Spatial and temporal transformations of resource-producing subjects of the Russian Federation in 2012–2021

Yuriy V. Petrov¹ and Boris I. Kochurov²

¹Tyumen State University, Tyumen, Russia

²Institute of Geography of RAS, Moscow, Russia

Principal contact

Yuriy V. Petrov, Candidate of Geographical Sciences, Department of Geoecology and Natural Resources, Tyumen State University; 2 Osipenko St, Tyumen, Russia 625003.

Tel. +73452597491

Email y.v.petrov@utmn.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2443-9750>

How to cite this article

Petrov Yu.V., Kochurov B.I. Spatial and temporal transformations of resource-producing subjects of the Russian Federation in 2012–2021. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(1):114–123. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-12

Received 7 June 2023

Revised 25 August 2023

Accepted 25 September 2023

Abstract

Allocation of spatial and temporal transformations in resource-producing subjects of the Russian Federation for the decade 2012–2021 based on the comparison of tax revenue materials with budget execution data.

The materials of the study were information from the Federal Tax Service of the Russian Federation, Form 1, regulatory legal acts. The values for 2 federal taxes were used as incoming tax revenues: corporate income tax and personal income tax. Research methods were: comparative, computational and cartographic.

During the period under review, 13 territories were assigned at least once to the group with high raw materials specialisation, for which negative features of response to external challenges are inherent:

- there was not a single subject of the Russian Federation in which the growth of budget expenditures with a proportional and large increase in tax revenues was observed;
- only in 2018, was an increase in budget expenditures noted for all territories with a simultaneous increase in tax revenues from mining;
- only in 4 subjects of the Russian Federation budget did expenditures continuously increased, while some members of the group had budget expenditures reduced against the background of the growth of raw material tax revenues.

During the period under review, high economic uncertainty and the accompanying transformation in regional policy were revealed, resulting in a change in the number and composition of participants in resource-producing subjects of the Russian Federation.

Key Words

Resource-producing subject of the Russian Federation, differentiated management, environmental management features, economic transformation of a resource-producing subject of the Russian Federation.

ВВЕДЕНИЕ

Сырьевая специализация отдельных стран, районов мира, параметры и направления их социально-экономического развития представлены в работах отечественных и зарубежных авторов [1–5]. Национальные и региональные отличия в ведении учёта данных по таким территориям сформировали разнообразие применяемых видов управления, включая предоставление социальной лицензии [6–8] и обязательств по сопутствующей технологической связанности добычи определённого сырья с его местной переработкой и приобретением оборудования [9; 10]. В современных геополитических условиях разработка дифференцированной политики по отношению к ресурсодобывающим субъектам РФ востребована необходимостью проведения диверсификации экономики с одновременным сохранением устойчивости и улучшения социальной и геоэкологической обстановки.

Вместе с тем, необходимо подчеркнуть, что ресурсодобывающие субъекты РФ являются основными донорами федерального бюджета, следовательно, государственное управление по диверсификации ресурсодобывающих территорий должно предусматривать сочетание направлений диверсификации экономики одних территорий с эффективностью взаимодействия с другими территориями при условии сохранения и роста размеров федерального бюджета. Соответственно, управленческие решения в отношении ресурсодобывающих территорий должны приниматься на долгосрочную перспективу, с учётом системных последствий, а не только как ответ на текущую обстановку [11; 12].

Целью нашего исследования является выделение пространственно-временных трансформаций в ресурсодобывающих субъектах РФ за десятилетие 2012–2021 гг. на основе сопоставления материалов налоговых поступлений с данными по исполнению бюджетов субъектов РФ. Выбранный временной промежуток включает в себя 3 различных в качественном отношении среза: 1) «докрымский» [13] (до 2014 г.), характеризуется сложившимся в 1990–2000-е гг. международным географическим разделением труда и ролью в нём РФ; 2) рестрикционный (2014–2021), характеризуется вводом односторонних ограничений со стороны недружественных стран на осуществление торговых взаимоотношений; 3) пандемийный (2020–2021), характеризуется влиянием на социально-экономическое развитие территорий новой коронавирусной инфекции.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. выполнить дифференциацию субъектов РФ по доле налоговых поступлений по виду экономической деятельности «добыча полезных ископаемых» в объёме расходов бюджета субъекта РФ;
2. оценить динамику соотношения в составе ресурсодобывающих субъектов РФ размеров налоговых поступлений от добычи полезных ископаемых с расходами бюджета субъекта РФ

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалами исследования послужили сведения Федеральной налоговой службы РФ (ФНС), представленные в отчётной форме 1-НОМ «Отчёт о начислении

и поступлении налогов, сборов и страховых взносов в бюджетную систему Российской Федерации по основным видам экономической деятельности», нормативные правовые акты 85 субъектов РФ (до 2014 г. 83) о принятии итогов исполнения бюджетов за каждый год периода 2012–2021 гг., сведения Росреестр по административно-политическому устройству РФ. В структуре отчётной формы 1-НОМ использованы сведения по категории 1036 «добыча полезных ископаемых – всего»; в качестве поступающих доходов – значения по 2 федеральным налогам: налог на прибыль организаций и налог на доходы физических лиц (НДФЛ).

Методы исследования: сравнительный, расчётный, картографический. Для получения суммы налоговых поступлений в определённом субъекте РФ производилось вычитание из общей суммы налоговых поступлений части, поступающей в федеральный бюджет. С учётом того, что поступления по обозначенным 2 налогам не могут поступать в местные (муниципальные) бюджеты, результат по данному расчёту мог соотноситься с бюджетом субъекта РФ, а не консолидированным бюджетом вместе с муниципальными бюджетами. Так как в отчётной форме в сведениях по НДФЛ федеральная составляющая стала отражаться только с 2021 г., то для сведений за предыдущие годы использовано допущение о полном отнесении данных поступлений к региональной части. В данных за 2021 г. доля федеральной части поступлений от НДФЛ составила 2,5 %, что позволяет нам рассматривать эту долю как незначительную от совокупных налоговых поступлений.

Проведение исследования в приуроченности к выбранному временному периоду обусловлено стремлением исключить выделение краткосрочных внешних конъюнктурных воздействий в качестве определяющих трендов. Более длительный срок наблюдения невозможен в силу отсутствия в настоящее время сопоставимых открытых данных по налоговым поступлениям и параметрам исполнения бюджетов субъектов РФ. По мере развития дигитализации в этом направлении возможно более глубокое временное исследование, позволяющее подчеркнуть сформировавшиеся закономерности. Также необходимо подчеркнуть, что за рассматриваемый временной период в налоговый кодекс РФ были внесены 104 изменения в первую часть, 332 изменения – во вторую часть. При такой активности регулятора именно долгосрочные тенденции можно рассматривать в качестве сформировавшегося результата проводимой региональной политики, как и комплексной эффективности.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для выполнения дифференциации территорий определим параметры выделения ресурсодобывающего субъекта РФ, их значение. В связи с наличием различных контекстных подходов исследователей целесообразным будет соответствующее практическое целеполагание.

Ресурсы в экономике распределяются на 6 классов: сырьё, люди, деньги, технологии, информация, предпринимательский талант. Соответственно, любой хозяйствующий субъект использует ресурсы. Рациональнее здесь рассматривать использо-

вание именно природных ресурсов, т.е. природного сырья, которое было создано определённым природно-территориальным комплексом. При этом, здесь мы подразумеваем, что промышленная добыча природного сырья также предусматривает привлечение труда сотрудников природопользователя, направленного на поиск, извлечение, предварительную обработку, хранение и транспортировку, реализацию товара. Любое сырьё в этом случае подвергается первичной обработке (сепарированию, обезвоживанию, обогащению и т.д.), но, безусловно, в сравнении с производством технологии добавленная стоимость здесь будет ниже.

Добыча природных ресурсов, в широком смысле слова, осуществляется на всей территории ойкумены, во всех её территориальных общественных системах. Это может проявляться и в деятельности предпринимательского сообщества, так и в бытовом использовании природных ресурсов ландшафтов, например, сбор дикоросов, охота, рыбная ловля и т.д. В контексте выделения высокого уровня ориентации баланса социально-экономического развития территории на осуществление видов деятельности по извлечению из природных ландшафтов и последующую реализацию природного сырья принципиальным становится ориентир этого уровня. Также необходимо обозначить и методологическую невозможность при текущей организации системы налогового учёта вычленения видов деятельности, ориентированных

исключительно на извлечение природного сырья. Сформировавшаяся профильная агрегация отражает только одну явную позицию – «добыча полезных ископаемых». В этом случае за рамками исследования остаются иные, востребованные в производственной сфере, виды природного сырья. Если сопоставлять их с ландшафтной ресурсной функцией (рис. 1), то за рамками верифицированного государственного учёта остаются возобновимые природные ресурсы, а налоговым учётом охвачены только невозобновимые полезные ископаемые.

В связи с наличием существенных ограничений в системе учёта видов экономической деятельности налоговых поступлений от извлечения природных ресурсов, а также отсутствие точных критериев, разграничивающих поступающие отчисления от извлечения природного сырья и от его последующей глубокой переработки, показатель высокого уровня такой ориентации территорий определим в 25 % и выше от поступающих налоговых отчислений по двум федеральным налогам в субъект РФ от размера расходной части бюджета субъекта РФ. Средний уровень в границах 10–25 %. Низкий уровень – 1–10 %. Незначительный уровень – менее 1 %. Качественное обоснование проведения такой границы обусловлено применением аналогичного подхода к распределению акций в общем пакете управления организацией и последующей ролью: контрольный, блокирующий, миноритарный пакеты.

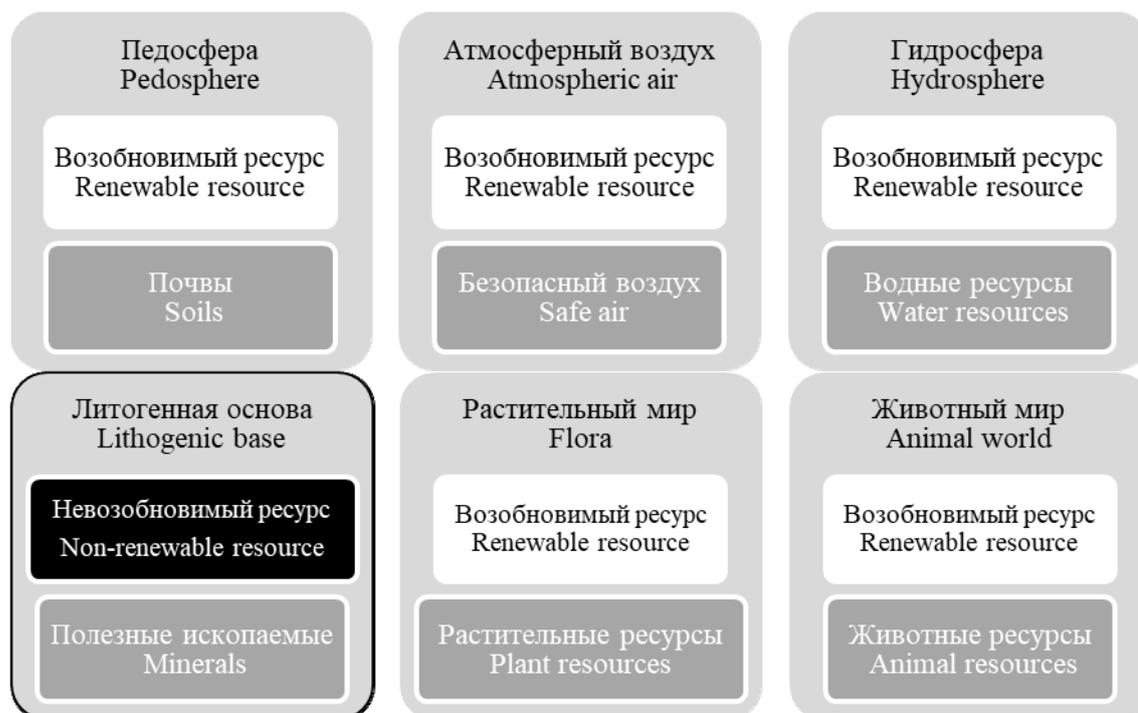


Рисунок 1. Соотношение компонентов природного ландшафта с их ресурсами и способностью к возобновлению (оконтуривание блока литогенной основы проведено с учётом в ФНС вида деятельности)

Figure 1. The ratio of components of the natural landscape with their resources and the ability to renew (the delineation of the lithogenic base block was carried out for the type of activity designated in the Federal Tax Service)

Выбор расходной части бюджета субъекта РФ в качестве сопоставляемого параметра обусловлен стремлением к учёту пропорций реализации базовых территориальных потребностей за счёт налоговых поступлений по виду деятельности «добыча полезных ископаемых». Приоритетное использование данной

позиции, вместо бюджетных доходов и валового регионального продукта (ВРП), обусловлен механизмами формирования данных показателей в российской практике. Бюджетные доходы отражают возможности предпринимательского сообщества в части аккумулирования бюджетных средств, которые, с

одной стороны, могут не соответствовать потребностям территориальной общности людей в части покрытия базовых потребностей, закреплённых в обязательствах субъекта РФ, с другой стороны, существует практика исполнения бюджетов с профицитом, когда совокупные поступления превышают расчётные потребности территориальной общественной системы. От использования ВРП решено отказаться также и в связи с тем, что при реализации корпоративной политики компании осуществляют искусственное распределение доходов, которое никак не отражает территорию фактического производства товаров и услуг, а только их номинальное позиционирование в структуре доходов корпорации.

Таким образом, информационное отраслевое обеспечение данными отражает межрегиональное соотношение и позволяет сформировать группу территорий для организации профильной региональной политики. Пространственное распределение субъектов РФ в «докрымский» период отражает сложившееся за несколько десятилетий соотношение, ориентирующееся на существующий природно-ресурсный потенциал и устоявшиеся производственно-территориальные комплексы со своими энергопроизводственными циклами (рис. 2).



Рисунок 2. Распределение субъектов РФ по соотношению налоговых поступлений по виду деятельности «добыча полезных ископаемых» с расходной частью бюджета в 2012 г.

Figure 2. Distribution of the subjects of the Russian Federation according to the ratio of tax revenues by type of activity "mining" with the expenditure part of the 2012 budget

К 2012 г. оформилось устойчивое секторальное разделение роли в экономике субъектов РФ поступлений от налоговых поступлений по виду деятельности «добыча полезных ископаемых». В азиатской части страны только для 4 южных территорий добыча полезных ископаемых не играла существенной роли. В европейской части страны выделяется Ненецкий автономный округ, специализирующийся на нефтяном направлении, отличающийся низкой численностью населения, соответственно, низкой расходной частью. Также вычлняются 4 географических района, для которых добыча полезных ископаемых является существенным сегментом в расходной части: углеводородное Поволжье, рудные Урал, Черноземье, Северо-Запад.

После воссоединения с Крымом и последующими зарубежными рестрикциями против российского предпринимательства пространственное соотношение в регионах существенно изменилось (рис. 3). Прежде всего, обращает на себя внимание увеличение сырьевой направленности в Красноярском крае, Томской области и в Чукотском автономном

округе. В европейской части страны выделяются изменения в нескольких районах. Усиление сырьевой направленности в экономике углеводородных уральских и поволжских субъектов РФ: в Оренбургской области доля сырьевых налоговых поступлений превышает 25 % от бюджетных затрат, в Башкортостане – 10 %. В Северокавказском районе доля сырьевых поступлений снижается ниже 1 %.

В 2020 г., который был отмечен влиянием на социально-экономическое развитие новой коронавирусной инфекции, происходит усиление роли сырьевых поступлений (рис. 4). В азиатской части страны увеличивается доля сырьевой составляющей в Магаданской области, но снижается в Тюменской, Томской, Кемеровской, Сахалинской областях. Последний субъект отличается планомерным снижением роли сырьевых поступлений в расходной части: с 2012 г. по 2021 г. соотношение сырьевых налоговых поступлений к бюджетным расходам снизилось: от 29 % в 2012 г. до 7 % в 2021 г. В европейской части страны в этот год не отмечены регионы с высоким уровнем, а ранее отмеченные субъекты в Поволжском и Уральском

экономических районах перешли из категории среднего уровня в категорию низкого уровня.

По итогам 2021 г. достигнуто максимальное число субъектов РФ с высоким уровнем рассматриваемого соотношения. При этом, такие территории появились и в европейской, и в азиатской частях

страны. Красноярский край, Ямало-Ненецкий автономный округ, Белгородская и Курская области впервые проявились в числе с высоким уровнем. Как отчётливо видно (рис. 5), в 2021 г. произошло существенное укрепление сырьевой составляющей в социально-экономической действительности страны.

Доля "добыча полезных ископаемых" / The share of "mining"

Поступления к расходам бюджета / Receipts to budget expenditures

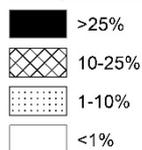


Рисунок 3. Распределение субъектов РФ по соотношению налоговых поступлений по виду деятельности «добыча полезных ископаемых» с расходной частью бюджета в 2015 г.

Figure 3. Distribution of the subjects of the Russian Federation according to the ratio of tax revenues by type of activity "mining" with the expenditure part of the 2015 budget

Полученные временные срезы позволили отразить пространственные трансформации (пример ежегодных изменений 2 субъектов РФ представлен в табл. 1). Высокая неопределённость социально-экономической ситуации в РФ, в мире, на определённых товарно-сырьевых рынках привела к возникновению отложенных реакций со стороны территориального управления на происходящие ситуации. В определённых случаях эта реакция была пропорциональна текущей ситуации, когда рост поступлений приводил к росту бюджетных расходов. В отдельных случаях – не наблюдалось прямого соответствия, что особенно отмечаем в случаях увеличения налоговых сырьевых поступлений и происходящее в это же время сокращение бюджетных трат субъекта РФ.

Нет ни одного субъекта РФ, в котором бы на протяжении всего рассматриваемого периода соблюдался бы рост бюджетных расходов с пропорциональным и большим ростом налоговых поступлений. Только в 2018 г. у всех 13 территорий был отмечен рост бюджетных расходов с одновременным ростом налоговых поступлений от добычи полезных ископаемых. Данная закономерность отражает волатильность конъюнктуры спроса на сырьё на мировом рынке, что предопределяет неопределённость параметров социально-экономического планирования на ресурсодобывающих территориях. С

учётом ухудшения геополитической обстановки в 2022 г., риск неопределённости только возрос.

За 9 ежегодных сравнений только в Красноярском крае, Курской, Магаданской, Иркутской областях непрерывно увеличивались бюджетные расходы. В это же время, на фоне роста сырьевых налоговых поступлений, сокращались бюджетные расходы, например, у Ямало-Ненецкого автономного округа в 2015 и 2021 гг., у Чукотского автономного округа – в 2014 и 2020 гг. Следует отметить, что только в 2018 и 2019 гг. бюджетные расходы не снижались ни в одном из рассматриваемых субъектов РФ. Данная позиция подчёркивает отсутствие обширной государственной политики, направленной на диверсификацию экономики от сырьевого вектора развития. Показателен пример Сахалинской области, в которой снижение годовых бюджетных расходов было 4 раза, в 2019 г. был рост бюджета, в 2020 г. при 4-х кратном росте налоговых поступлений от добычи полезных ископаемых отмечено снижение бюджетных расходов, которое продлилось и в 2021 г.

Вместе с тем, используемое нами соотношение принципиально дифференцировать с позиций направлений изменения. Здесь мы выделяем 5 вариаций: 1) рост бюджетных расходов и превышающий по величине рост сырьевых налоговых поступлений; 2) рост бюджетных расходов и меньший рост сырьевых налоговых поступлений; 3) рост бюджетных расходов и

падение сырьевых налоговых поступлений; 4) падение бюджетных расходов и рост сырьевых налоговых поступлений; 5) падение бюджетных расходов и падение сырьевых налоговых поступлений. На примере

субъектов РФ, в которых в рассмотренные годы отмечался высокий уровень соотношения, выполнили группировку (табл. 2) в соответствии с указанными 5 вариациями.



Рисунок 4. Распределение субъектов РФ по соотношению налоговых поступлений по виду деятельности «добыча полезных ископаемых» с расходной частью бюджета в 2020 г.

Figure 4. Distribution of the subjects of the Russian Federation according to the ratio of tax revenues by type of activity "mining" with the expenditure part of the budget in 2020



Рисунок 5. Распределение субъектов РФ по соотношению налоговых поступлений по виду деятельности «добыча полезных ископаемых» с расходной частью бюджета в 2021 г.

Figure 5. Distribution of the subjects of the Russian Federation according to the ratio of tax revenues by type of activity "mining" with the expenditure part of the 2021 budget

Таблица 1. Динамика рассматриваемых показателей в субъектах РФ в 2013–2021 гг.**Table 1.** Dynamics of the considered indicators in the subjects of the RF in 2013–2021

Год Year	Бюджетные расходы, млн. руб. Budget expenditures, million rubles	Рост к значению предыдущего года, % Growth on the value of the previous year, %	Поступления от добычи полезных ископаемых, млн. руб. Revenues from mining, million rubles	Рост к значению предыдущего года, % Growth on the value of the previous year, %
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра / Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra				
2013	166 917	99	70 956	76
2014	184 363	110	132 894	187
2015	221 655	120	146 231	110
2016	206 190	93	97 914	67
2017	196 637	95	56 776	58
2018	232 769	118	177 859	313
2019	248 790	106	128 941	72
2020	272 902	110	154 445	120
2021	275 765	101	157 944	102
Сахалинская область / Sakhalin region				
2012	67 401		19 487	
2013	86 707	129	17 136	88
2014	127 074	147	18 531	108
2015	197 156	155	28 997	156
2016	141 016	72	11 561	40
2017	117 265	83	7 035	61
2018	144 883	124	7 242	103
2019	182 768	126	2 998	41
2020	176 206	96	14 665	489
2021	161 956	92	10 969	75

Таблица 2. Распределение ресурсодобывающих субъектов РФ по вариантам динамики соотношения роста бюджетных расходов и сырьевых налоговых поступлений**Table 2.** Distribution of resource-producing subjects of the Russian Federation according to the variants of the dynamics of the growth ratio of budget expenditures and raw material tax revenues

Год Year	1	2	3	4	5
2013	Ku	O	M, Sh, N, Ch, I, S, B, Kr		Yu, Ya, Ke
2014	Yu, O, M, Ya, Ke	Sh	N, I, Ku, Kr	Ch, S	B
2015	O, M, Sh, N, Ch, Ke, I, Kr	Yu, S	B, Ku	Ya	
2016	M, Ke, I, S, B, Kr	Ch, Ya	Ku		Yu, O, Sh, N
2017	N, Ya, Ke, B, Ku	I	O, M, Ch, S, Kr		Yu, Sh
2018	Yu, O, M, N, Ya, Ke, I, S, B, Ku, Kr	Sh, Ch			
2019	M, B, Ku	Ch, Ya	Yu, O, Sh, N, Ke, I, S, Kr		
2020	Yu, M, S	I, Kr	O, N, Ya, Ke, B, Ku	Sh, Ch	
2021	Yu, O, N, I, S, B, Ku, Kr	M	Ch	Ya, Ke	Sh

Примечание: B – Белгородская область; I – Иркутская область; Ke – Кемеровская область – Кузбасс; Kr – Красноярский край;

Ku – Курская область; M – Магаданская область; N – Ненецкий автономный округ; O – Оренбургская область;

S – Республика Саха (Якутия); Sh – Сахалинская область; Ch – Чукотский автономный округ; Yu – Ханты-Мансийский

автономный округ – Югра; Ya – Ямало-Ненецкий автономный округ

Note: B – Belgorod region; I – Irkutsk region; Ke – Kemerovo region – Kuzbass; Kr – Krasnoyarsk Territory; Ku – Kursk region;

M – Magadan region; N – Nenets Autonomous Okrug; O – Orenburg region; S – Republic of Sakha (Yakutia); Sh – Sakhalin region;

Ch – Chukotka Autonomous Okrug; Yu – Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra; Ya – Yamalo-Nenets Autonomous Okrug

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время в РФ не осуществляется консолидированная политика в отношении управления ресурсодобывающими субъектами РФ, что существенно снижает возможности проведения общегосударственной диверсификации экономики. Отсутствие выработанных мероприятий и апробации инстру-

ментария по диверсификации для применения по отношению к непосредственным объектам сырьевой специализации существенно снижает эффективность экономической модернизации. Поэтому выделение соответствующих приоритетных целевых групп, которые должны стать бенефициарами от диверсификации экономики, как и наиболее чувствительными

стейкхолдерами от принимаемых управленческих государственных решений в данном направлении, является стратегической задачей.

В связи с отсутствием реализованного подхода по выделению ресурсодобывающих субъектов РФ предлагается использовать соотношение налоговых поступлений от добычи полезных ископаемых (приводится информация в общедоступных материалах Федеральной налоговой службы) к бюджетным расходам субъекта РФ (параметры утверждаются на законодательном уровне каждым из субъектов РФ). Для учёта длительных трендов, для исключения влияния краткосрочной конъюнктуры цен на определённый вид сырья, наиболее оптимален подход использования многолетних результатов, что позволяет рассматривать и направление бюджетной территориальной политики.

Проведённая нами оценка пространственно-временной трансформации ресурсодобывающих субъектов РФ охватывает десятилетний период, характеризующийся глобальными внешними воздействиями. В связи с этим, акценты были расставлены на определённые временные качественные отсечки: воссоединение с Крымом, воздействие новой коронавирусной инфекции, восстановление после локдауна. Таким образом, рассмотренные 2012, 2015, 2020, 2021 гг. отразили высокую экономическую неопределённость и сопутствующую трансформацию в региональной политике, что выразилось в изменении числа и участников ресурсодобывающих субъектов РФ. Только для Ханты-Мансийского автономного округа-Югры в 2012–2021 гг. налоговые поступления от добычи полезных ископаемых всегда превышали 25 % от бюджетных расходов данного субъекта РФ.

За рассматриваемый период 13 территорий хотя бы раз были отнесены к группе с высокой сырьевой специализацией. Их фокусное рассмотрение позволило выявить дифференциацию между преобладающими составляющими в формировании рассматриваемого соотношения: рост сырьевых налоговых поступлений или (и) снижение бюджетных расходов. Данный анализ отразил негативные черты осуществляемого бюджетного реагирования сырьевых территорий на внешние вызовы:

- не оказалось ни одного субъекта РФ, в котором бы на протяжении всего рассматриваемого периода соблюдался бы рост бюджетных расходов с пропорциональным и большим ростом налоговых поступлений;

- только в 2018 г. для всех территорий был отмечен рост бюджетных расходов с одновременным ростом налоговых поступлений от добычи полезных ископаемых;

- только в Красноярском крае, Курской, Магаданской, Иркутской областях непрерывно увеличивались бюджетные расходы, в то время как у некоторых участников рассматриваемой группы на фоне роста сырьевых налоговых поступлений сокращались бюджетные расходы.

С учётом ухудшения геополитической ситуации социально-экономическое планирование для ресурсодобывающих субъектов РФ необходимо осуществлять в фарватере согласованной федеральной повестки, нацеленной на сбалансированность территориального развития. Разработка рабочего документа, очевидно, потребует и иного

информационного сопровождения в принятии управленческих решений, что позволит детализировать параметры разработки территориальных механизмов диверсификации.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено по теме государственного задания ИГ РАН «Биотические, географо-гидрологические и ландшафтные оценки окружающей среды для создания основ рационального природопользования» FMWS-2024-0007 (1021051703468-8).

ACKNOWLEDGMENT

The study was carried out on the topic of the state assignment of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences "Biotic, Geographic-Hydrological and Landscape Assessments of the Environment to Create the Foundations of Rational Environmental Management" FMWS-2024-0007 (1021051703468-8).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Antonova N.E., Lomakina N.V. Institutional Innovations for the Development of the East of Russia: Effects of Implementation in the Resource Region // *Journal of Siberian Federal University. Humanities and Social Sciences*. 2020. V. 13. N 4. P. 442–452. <https://doi.org/10.17516/1997-1370-0580>
2. Yeung H.W.-C. Regional Worlds: From Related Variety in Regional Diversification to Strategic Coupling in Global Production Networks // *Regional Studies*. 2021. V. 55. N 6. P. 989–1010. <https://doi.org/10.1080/00343404.2020.1857719>
3. Muhamad G.M., Heshmati A., Khayyat N.T. How to Reduce the Degree of Dependency on Natural Resources? // *Resources Policy*. 2021. V. 72. Article id: 102047. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102047>
4. Забелина И.А. Оценка социо-эколого-экономического благополучия регионов востока России с использованием расширенной функции А. Сена // *Экономика региона*. 2022. Т. 18. N 2. С. 398–412. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2022-2-7>
5. Минакир П.А. Тернистый путь на восток: прорывы, оборачивающиеся тупиками // *Пространственная экономика*. 2022. Т. 18. N 3. С. 7–16. <https://doi.org/10.14530/se.2022.3.007-016>
6. Litvinenko V.S., Tsvetkov P.S., Molodtsov K.V. The social and market mechanism of sustainable development of public companies in the mineral resource sector // *Eurasian Mining*. 2020. N 1. P. 36–41. <https://doi.org/10.17580/em.2020.01.07>
7. Басов А.С. Социальные технологии для добывающих компаний и история одного месторождения // *Этнографическое обозрение*. 2021. N 2. С. 179–182. <https://doi.org/10.31857/S086954150014814-5>
8. Collins B.C., Kumral M. A critical perspective on social license to operate terminology for Canada's most vulnerable mining communities // *The Extractive Industries and Society*. 2021. V. 8. N 2. Article id: 100836. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2020.11.002>
9. Deegan J., Solheim M.C.W., Jakobsen S.E., Isaksen A. One coast, two systems: Regional innovation systems and entrepreneurial discovery in Western Norway // *Growth and Change*. 2022. V. 53. P. 490–514. <https://doi.org/10.1111/grow.12595>

10. Sletten S., Wangen J.K., Solheim M.C.W. Changing industrial trajectories through business model innovation: a case study of the oil and gas industry in Norway // *European Planning Studies*, 2023, V. 31, Iss. 7, P. 1555–1574. <https://doi.org/10.1080/09654313.2023.2185503>

11. Крюков В.А., Шмат В.В. Азиатская Россия – условия и препятствия поступательной диверсификации экономики макрорегиона // *Пространственная экономика*. 2022. Т. 18. N 1. С. 34–72. <https://doi.org/10.14530/se.2022.1.034-072>

12. Зубаревич Н.В. Регионы России в новых экономических условиях // *Журнал Новой экономической ассоциации*. 2022. N 3(55). С. 226–234. <https://doi.org/10.31737/2221-2264-2022-55-3-15>

13. Петухов В.В. Кризисная реальность и возможность политической трансформации российского общества // *Политические исследования*. 2016. N 5. С. 8–24. <https://doi.org/10.17976/jpps/2016.05.02>

REFERENCES

1. Antonova N.E., Lomakina N.V. Institutional Innovations for the Development of the East of Russia: Effects of Implementation in the Resource Region. *Journal of Siberian Federal University. Humanities and Social Sciences*, 2020, vol. 13, no. 4, pp. 442–452. <https://doi.org/10.17516/1997-1370-0580>

2. Yeung H.W.-C. Regional Worlds: From Related Variety in Regional Diversification to Strategic Coupling in Global Production Networks. *Regional Studies*, 2021, vol. 55, no. 6, pp. 989–1010. <https://doi.org/10.1080/00343404.2020.1857719>

3. Muhamad G.M., Heshmati A., Khayyat N.T. How to Reduce the Degree of Dependency on Natural Resources? *Resources Policy*, 2021, vol. 72, article id: 102047. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102047>

4. Zabelina I.A. Assessment of the Socio-Ecological and Economic Welfare of the Russian Eastern Regions Using Sen's Extended Function. *Economy of regions*, 2022, vol. 18, no. 2, pp. 398–412. (In Russian) <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2022-2-7>

5. Minakir P.A. The Thorny Path Eastwards: Breakthroughs Which Turn Into Dead-End. *Spatial Economics*, 2022, vol. 18, no. 3, pp. 7–16. (In Russian) <https://doi.org/10.14530/se.2022.3.007-016>

6. Litvinenko V.S., Tsvetkov P.S., Molodtsov K.V. The social and market mechanism of sustainable development of public companies in the mineral resource sector. *Eurasian Mining*, 2020, no. 1, pp. 36–41. <https://doi.org/10.17580/em.2020.01.07>

7. Basov A.S. Social Technologies for Mining and a Story of One Particular Mine. *Ethnographic review*, 2021, no. 2, pp. 179–182. (In Russian) <https://doi.org/10.31857/S086954150014814-5>

8. Collins B.C., Kumral M. A critical perspective on social license to operate terminology for Canada's most vulnerable mining communities. *The Extractive Industries and Society*, 2021, vol. 8, no. 2, article id: 100836. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2020.11.002>

9. Deegan J., Solheim M.C.W., Jakobsen S.E., Isaksen A. One coast, two systems: Regional innovation systems and entrepreneurial discovery in Western Norway. *Growth and Change*, 2022, vol. 53, pp. 490–514. <https://doi.org/10.1111/grow.12595>

10. Sletten S., Wangen J.K., Solheim M.C.W. Changing industrial trajectories through business model innovation: a case study of the oil and gas industry in Norway. *European Planning Studies*, 2023, vol. 31, iss. 7, pp. 1555–1574. <https://doi.org/10.1080/09654313.2023.2185503>

11. Kryukov V.A., Shmat V.V. Asian Russia – Conditions for and Obstacles to Progressive Diversification of Macroeconomic Economy. *Spatial Economics*, 2022, vol. 18, no. 1, pp. 34–72. (In Russian) <https://doi.org/10.14530/se.2022.1.034-072>

12. Zubarevich N.V. Regions of Russia in the new economic conditions. *Journal of the New Economic Association*, 2022, no. 3(55), pp. 226–234. (In Russian) <https://doi.org/10.31737/2221-2264-2022-55-3-15>

13. Petukhov V.V. The Crisis Reality and Prospects of Political Transformation of the Russian Society. *Polisy. Political Studies*, 2016, no. 5, pp. 8–24. (In Russian) <https://doi.org/10.17976/jpps/2016.05.02>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Юрий В. Петров собрал материал, провёл выделение трансформаций и анализ. Борис И. Кочуров обеспечил методологическое сопровождение выполнения работ. Оба автора в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Yuriy V. Petrov collected the material and carried out the identification of transformations and analysis. Boris I. Kochurov provided methodological support for the work. Both authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Юрий В. Петров / Yuriy V. Petrov <https://orcid.org/0000-0002-2443-9750>

Борис И. Кочуров / Boris I. Kochurov <https://orcid.org/0000-0002-8351-3658>

Оригинальная статья / Original article

УДК 378.147.227

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-13



Концепция Longlife Learning как фактор конкурентоспособности и устойчивого социально-экономического развития

Марина Е. Цой¹, Владислав Ю. Щеколдин¹, Наталия В. Яковенко²

¹Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

²Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия

Контактное лицо

Наталия В. Яковенко, доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник дирекции НИИ ИТЛК, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова; 394087 Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8.
Тел. +79191889232

Email n.v.yakovenko71@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4203-0040>

Формат цитирования

Цой М.Е., Щеколдин В.Ю., Яковенко Н.В. Концепция Longlife Learning как фактор конкурентоспособности и устойчивого социально-экономического развития // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 1. С. 124-133. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-13

Получена 2 декабря 2023 г.

Прошла рецензирование 13 января 2024 г.

Принята 15 января 2024 г.

Резюме

Целью работы является выявление однородных групп потребителей к приобретению услуг «Обучения на протяжении всей жизни» в контексте их покупательского поведения.

Использованы теория системного анализа, экономико-статистический и эмпирический методы. Респондентами выступили потребители услуг, представляемые в центрах дополнительного образования крупнейших российских вузов. Сбор данных для исследования проводился с помощью онлайн-опроса через сервис Google Forms.

Было выделено шесть групп потребителей образовательных услуг: 1-я – потребители «LLL», которые идентифицируют свой опыт обучения как неэффективный (соответствует ответу «ничего не получаю от обучения»); 2-я – мужчины и женщины не старше 35 лет, ориентированные в основном не на семью, а на построение карьеры, довольно часто участвующие в различных образовательных мероприятиях; 3-я – женщины, которые выбирают формат обучения в виде программ переподготовки; 4-я – женщины, работающие фрилансерами или самозанятыми, некоторые из них находятся в декретном отпуске; 5-я – женщины примерно до 35 лет, работающие линейными работниками, без детей и высшего образования; 6-я – мужчины в возрасте до 40 лет, с хорошим материальным положением, которые самостоятельно выбирают определенную программу обучения с целью получения конкретных знаний.

Концепция «Обучения на протяжении всей жизни» предполагает непрерывное развитие и совершенствование навыков, компетенций и знаний на протяжении всей жизни, что способствует повышению конкурентоспособности и устойчивости социально-экономического развития.

Ключевые слова

Непрерывное образование, профессиональное обучение, стратегия обучения, практические навыки, результаты исследований, карьерный рост.

The “Lifelong Learning” concept as a factor of competitiveness and sustainable social and economic development

Marina Ye. Tsoy¹, Vladislav Yu. Shchekoldin¹ and Nataliya V. Yakovenko²

¹Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

²G.F. Morozov Voronezh State University of Forestry and Technologies, Voronezh, Russia

Principal contact

Nataliya V. Yakovenko, Doctor of Geography, Professor, Chief Research Officer, Directorate of the Research Institute of Innovative Technologies and Forestry Complex, G.F. Morozov Voronezh State University Forestry and Technologies; 8 Timiryazev St, Voronezh, Russia 394087. Tel. +79191889232

Email n.v.yakovenko71@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4203-0040>

How to cite this article

Tsoy M.Ye., Shchekoldin V.Yu., Yakovenko N.V. The “Lifelong Learning” concept as a factor of competitiveness and sustainable social and economic development. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(1):124-133. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-13

Received 2 December 2023

Revised 13 January 2024

Accepted 15 January 2024

Abstract

The purpose is to identify homogeneous groups of consumers towards the purchase of Lifelong Learning services in the context of their purchasing behaviour.

The theory of system analysis, economic-statistical and empirical methods were used. The respondents were consumers of services provided in the centres of additional education of the largest Russian universities. The data for the study was collected by means of an online survey via Google Forms service.

Six groups of educational services consumers were identified: 1st – “LLL” consumers who identify their learning experience as ineffective (corresponding to the response “get nothing out of learning”); 2nd – men and women not more than 35 years old, targeting mainly not in the family, but in building a career, quite often participating in various educational activities; 3rd – women who choose the format of training in the form of retraining programs; 4th – women working as freelancers or self-employed, some of them on maternity leave; 5th – women up to about 35 years old, working as line workers, without children and without higher education; 6th – men under the age of 40, with a good financial situation, who independently choose a certain training programme in order to obtain specific knowledge.

The concept of “Lifelong Learning” involves the continuous development and improvement of skills, competences and knowledge throughout life, which helps to enhance competitiveness and sustainability of social and economic development.

Key Words

Continuing education, professional learning, learning strategy, practical skills, research findings, career development.

ВВЕДЕНИЕ

Как в политических, так и в научных дискуссиях подчеркивается растущая общественная важность образования взрослых и обучения на протяжении всей жизни. Это обсуждение мотивировано продолжающейся глобализацией, технологическими изменениями, основанными на навыках, цифровизацией и развитием общества знаний. Поскольку эти структурные изменения имеют решающее значение для трудовой жизни населения в постиндустриальных странах, образование больше не является преимуществом, достигаемым в молодом возрасте, которое остается постоянной ценностью в течение долгой и стабильной трудовой карьеры. Сегодня взрослые должны постоянно учиться, чтобы соответствовать гибким требованиям на рабочем месте и иметь возможность находить работу в различных и быстро меняющихся отраслях. Кроме того, поскольку старение населения приводит к нехватке квалифицированных работников, обучение на протяжении всей жизни становится более важным в связи с демографическими изменениями. Одним из способов удовлетворения этого спроса на квалифицированных работников является дальнейшее образование взрослых. Таким образом, образование взрослых и обучение на протяжении всей жизни стали неотъемлемой частью нынешней и будущей образовательной карьеры [1–3].

Признается, что старение населения и увеличение ожидаемой продолжительности жизни во многих странах мира создают ряд проблем по целому ряду направлений политики. К ним относятся проблемы со здоровьем, изменение структуры семьи и отношений между поколениями, новые модели работы и значение выхода на пенсию, а также устойчивость систем социальной поддержки во время глобального экономического кризиса. С ростом технологических изменений навыки, необходимые для работы, устаревают все быстрее. В современных отраслях экономики необходимо обновлять компетенции каждые 12–18 месяцев, чтобы сохранить конкурентоспособность и повысить производительность труда. Непрерывное образование – это переоценка всей системы образования с целью внедрения интегрированной сети образовательных возможностей для людей на всех этапах жизни. Этот процесс гибкий и предлагает новые профессии и развитие потенциальных способностей для детей и молодежи. В то же время, он также предоставляет взрослым возможности для получения новых знаний и навыков [4].

Обучение на протяжении всей жизни – это принцип, который может быть использован для проведения реформ в существующей системе образования и расширения системы образования таким образом, чтобы привести к эффективному росту и развитию отдельных людей, сообщества и нации в целом в будущем. Реформирование существующей системы образования имеет важное значение, и построение будущей системы образования также рассматривается как необходимое, и в том, и в другом случае образование на протяжении всей жизни должно рассматриваться как руководство. Посредством обучения на протяжении всей жизни происходит развитие личности. Люди могут расширить свое понимание с точки зрения различных аспектов, которые необходимы для улучшения их общего качества жизни.

Получая образование, люди не только удовлетворяют все потребности своего развития, такие как практические и реалистичные навыки, но и считают образование на протяжении всей жизни необходимым для достижения желаемых целей. Оно делает акцент на личностном и социальном развитии людей [5].

В течение последнего десятилетия обучение на протяжении всей жизни считалось глобальной инвестицией в создание возможностей для всех, чтобы люди могли учиться на протяжении всей жизни [6; 7]. Эти благоприятные условия способствуют гибкому переходу между образованием и работой, поддерживают профессиональное развитие и способствуют физическому и психическому благополучию, которые необходимы в повседневной жизни [8].

Сегодня чаще всего упоминается обучение на протяжении всей жизни, которое стало глобальным «модным словом» из-за смены карьеры, когда рабочие места устаревают из-за технологических сдвигов. Обучение на протяжении всей жизни определяется как «любая учебная деятельность, осуществляемая на протяжении всей жизни с целью совершенствования знаний, навыков и компетенций в личностном, гражданском, социальном плане и/или в сфере занятости» [9; 10]. Таким образом, это не только способствует социальной интеграции, активной гражданской позиции и личностному развитию, но и самоокупаемости, а также конкурентоспособности и возможности трудоустройства.

Обучение на протяжении всей жизни стало ведущей парадигмой для размышлений о системах образования и их реформировании. Оно лежит в основе самого последнего (2015 г.) доклада ЮНЕСКО о переосмыслении образования на пути к глобальному общему благу. Организация Объединенных Наций (ООН) определила в перспективе до 2030 года Цели устойчивого развития (ЦУР) в качестве всеобъемлющей цели в области образования: «обеспечить инклюзивное и справедливое качественное образование и поощрять возможности обучения на протяжении всей жизни для всех». Все области, секторы и возрастные группы включены в семь целевых показателей [11; 12].

В сфере образовательных услуг постоянно расширяется выбор программ для оперативного и систематического обновления компетенций. Они варьируются от профессиональной переподготовки в университетах до гибкого и быстрого обучения на рабочем месте. Слушатели образовательных организаций дополнительного образования, как правило, имеют опыт работы и более зрелый возраст. Они осознанно выбирают образовательное учреждение и программу, которые отвечают их потребностям. Тем не менее, вопросы мотивации в системе дополнительного образования остаются актуальными и требуют всестороннего анализа [13–15].

Концепция устойчивого развития непрерывного образования во многом базируется на предоставлении образовательных услуг взрослым людям, которые заинтересованы в овладении новыми компетенциями, знаниями и умениями в течение своей жизни. Однако их мотивация к повышению квалификации может существенно различаться в зависимости от рода деятельности, уровня образования, наполненности рынка труда, образа жизни, географической локации и принадлежности к определенной референтной группе и

др. Поэтому необходимо выявлять сегменты потребителей образовательных услуг, движимых общими установками, для которых возможно разрабатывать специализированные стратегии в призме их потребительского поведения [16; 17].

Существует множество методических подходов к выявлению однородных групп потребителей, различающих степень сложности, математическим инструментарием, универсальностью и т.д. Однако специфика процессов непрерывного обучения требует разработки специализированной методики, которая учитывала бы как интересы конечных потребителей, так и возможности образовательных организаций, предоставляющих услуги непрерывного обучения. В качестве структурных элементов такой методики могут привлекаться различные методы многомерного статистического анализа, в частности, факторный, дискриминантный и кластерный анализ. При построении моделей сложных экономических и социально-экономических процессов существенное влияние на результат оказывает выбор показателей (факторов), наиболее точно описывающих изучаемое явление.

Одним из широко применяемых подходов такого типа является факторный анализ. Его идея основана на том, что, исходя из имеющегося набора показателей (исходных факторов), можно построить систему новых независимых показателей (латентных факторов), которая будет обеспечивать, во-первых, заведомо меньшее число показателей, описывающих изучаемое явление, во-вторых, их высокий уровень независимости друг от друга (слабую коррелированность), а в-третьих – существенную статистическую значимость параметров такой модели. При этом существенную роль будет играть тот факт, что выделенные при помощи факторного анализа латентные показатели будут иметь удобную интерпретацию, что поможет идентифицировать однородные группы исследуемых объектов или процессов. Все это позволит не только строить значимые и статистически устойчивые модели, но и разрабатывать на их основе полезные рекомендации по применению моделей на практике.

С точки зрения построения модели Lifelong Learning применение факторного анализа является более чем оправданным – исходя из начального набора показателей удастся выделить определенное количество латентных факторов, которые, в свою очередь, помогают идентифицировать однородные группы исходных факторов. Каждая такая группа будет соответствовать определенному типу потребителей, что позволит не только определить их характеристики, но и оценить количество таких потребителей и, следовательно, долю в общем числе, а также, в дальнейшем, разработать эффективные стратегии взаимодействия с этими группами клиентов.

Целью работы является выявление однородных групп потребителей, характеризующимися общим отношением, восприятием и мотивацией к приобретению услуг Lifelong Learning (LLL) в контексте их покупательского поведения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для обработки исходной информации и написания работы были использованы теория системного анализа, экономико-статистический метод, сравнительно-

описательный анализ и общенаучные методы эмпирических исследований. В качестве респондентов были опрошены потребители образовательных услуг, предоставляемые в центрах дополнительного образования при ведущих ВУЗах РФ (Москвы, Санкт-Петербурга, Новосибирска, Екатеринбурга, Казани и Нижнего Новгорода). В целях актуализации исследования к опросу привлекались респонденты, прошедшие программы переподготовки или повышения квалификации в течение последних 5-ти лет.

Сбор данных для исследования проводился с помощью онлайн-опроса через сервис Google Forms. Респондентам предоставлялась анкета на самозаполнение, которая содержала 28 вопросов относительно их социально-демографического статуса, истории покупательского поведения при использовании услуг Lifelong Learning, и вопросов, касающихся их намерений и мотивации относительно Lifelong Learning.

Для оценки эмоциональных реакций респондентов были использованы следующие измерительные шкалы: 7-балльная шкала Ликерта от «полностью не согласен» до «полностью согласен» и 10-балльная шкала семантического дифференциала.

Для проведения статистического анализа данных, собранных в ходе настоящего исследования, был использован продукт – проект Orange Data Mining, разработанный в Университете Любляны (Словения), к достоинствам которого следует отнести удобство и наглядность интерфейса, широкий набор средств визуализации получаемых результатов, а также что немаловажно, бесплатный доступ к программному обеспечению.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В феврале 2023 года было проведено исследование, направленное на выявление определенных групп потребителей образовательных услуг, которые продолжают свое образование по разным причинам. Опрос проводился онлайн-способом заполнения анкеты в Google-форме.

Общая схема методики анализа потребителей услуг непрерывного обучения представлена на рисунке 1.

К социально-демографическим характеристикам респондентов относились пол, возраст, семейное положение, уровень базового образования, сфера текущей деятельности, занимаемая должность, профессия, самооцениваемый уровень дохода и т.д. К истории покупательского поведения был отнесен: время последнего повышения квалификации; сумма, затраченная на оплату образовательных услуг; форма, количество курсов я повышения квалификации за последние 5 лет, место прохождения курсов повышения квалификации, форма и т.д.

К блоку, касающемуся мотивации и восприятия Lifelong Learning, определены следующие компоненты: причины обучения; вопросы, касающиеся процесса принятия решения об обучении; мотивация обучающихся; оценка полезности программы обучения для карьерных перспектив, получения специализированных навыков, опыта решения практических задач и др.; возможности увеличения дохода путем применения полученных знаний и навыков; повышения социального статуса; предпочитаемый формат обучения, самостоятельность выбора образовательных программ и т.д.

Изучение данных, собранных в результате опроса, проводилось различными методами статистического анализа, включая первичный статистический и факторный. На первом этапе данные, полученные от респондентов, проверялись на репрезентативность, однородность и полноту. В связи с этим было сокращено число анализируемых анкет с 317 до 268, что обусловлено ошибками в заполнении анкеты, неполнотой представленной информации, наличием некорректных ответов и др.

Наиболее важным этапом статистического анализа данных стало применение техники факторного анализа, который позволил рассчитать значения факторных нагрузок, определяющих степень корреляции между исходными и латентными факторами, а также оценить величину объясненной дисперсии, которая определяет объясняющую способность выделенных факторов.

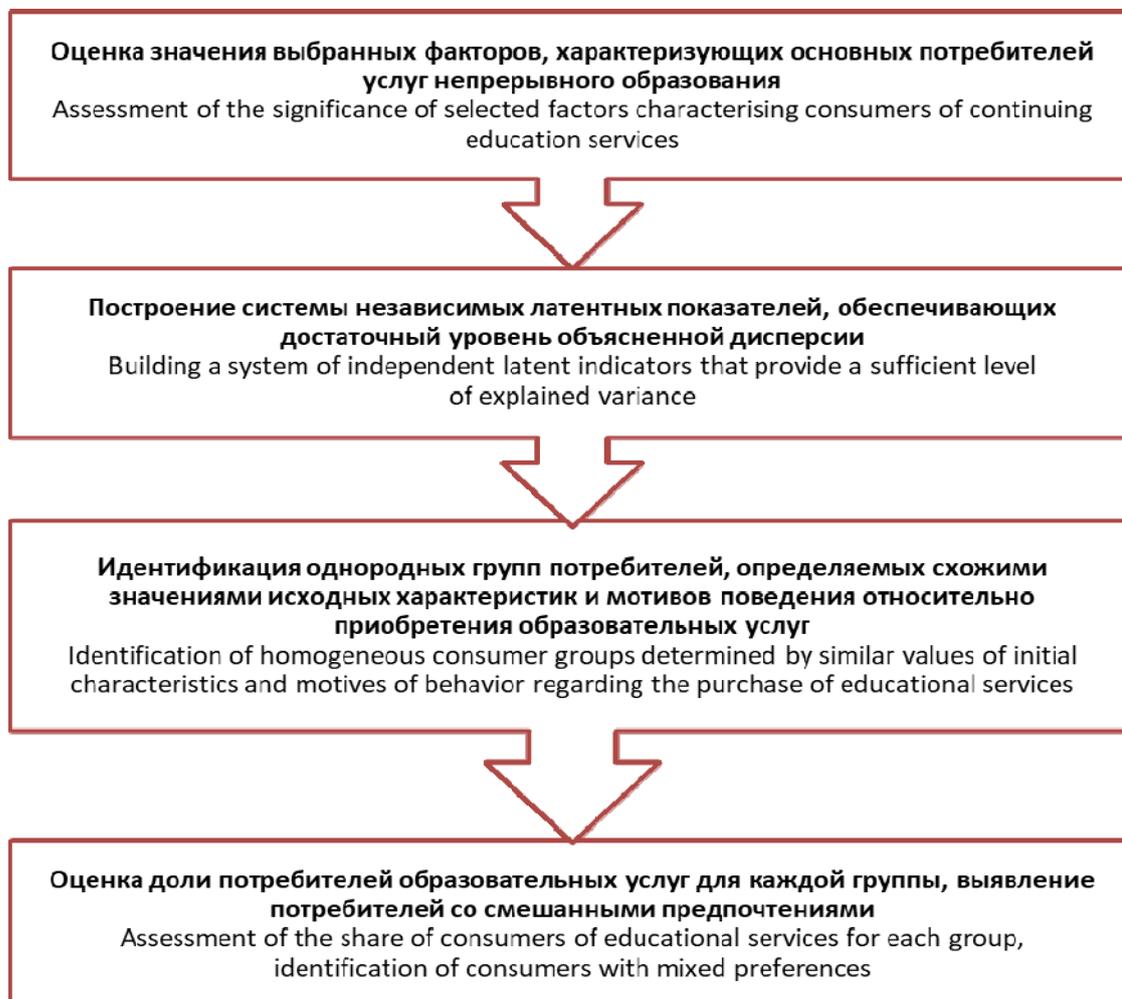


Рисунок 1. Общая схема методики анализа потребителей услуг непрерывного обучения

Figure 1. The general scheme of the methodology for analysing consumers of continuing education services

При построении моделей сложных экономических и социально-экономических процессов существенное влияние на результат оказывает выбор показателей (факторов), наиболее точно описывающих изучаемое явление. При этом со статистической точки зрения, чем больше факторов будет привлечено, тем более полную картину получит исследователь и тем более надежные прогнозы могут быть получены при помощи такой модели. Однако хорошо известно, что для получения информации о большом числе факторов требуется привлечение значительных ресурсов – как материальных, финансовых, так и временных, что может серьезно ограничивать проведение исследований. Кроме того, увеличение числа факторов в модели может приводить к повышению уровня их взаимной коррелированности и, как следствие, к такому неприятному статистическому явлению как

мультиколлинеарность. Результатом будет являться уменьшение прогностических способностей модели, осложнение интерпретации получаемых на ее основе результатов, а также появление существенных ограничений на применение ее на практике. Выходом из такой ситуации может являться применение специальных статистических технологий, позволяющих, с одной стороны, уменьшить число факторов, описывающих изучаемое явление, а с другой – сохранить полезные исследователю статистические свойства получаемой модели.

Значения факторных нагрузок, определяющих степень корреляции между исходными и латентными факторами, а также величина объясненной дисперсии, которая определяет объясняющую способность выделенных факторов, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Значения объясненной латентными факторами дисперсии**Table 1.** Values of the variance explained by latent factors

Латентные факторы Latent Factors	PC ₁	PC ₂	PC ₃	PC ₄	PC ₅	PC ₆
Доля дисперсии Proportion of variance	15,5%	11,4%	9,3%	8,0%	7,9%	7,4%

Остальные возможные группы входных факторов не могут обеспечить достаточной статистической значимости и, следовательно, корректной интерпретации этих факторов с точки зрения однородных групп потребителей услуг Lifelong Learning. Поэтому имеет

смысл проводить анализ составляющих латентных факторов только выделенных шести групп.

Взаимосвязь между исходными и латентными факторами и значения соответствующих факторных нагрузок приведены в таблице 2.

Таблица 2. Факторные нагрузки для исходных и латентных факторов**Table 2.** Factor loadings for initial and latent factors

Исходные факторы Initial factors	Факторные нагрузки Factor loadings	Исходные факторы Initial factors	Факторные нагрузки Factor loadings
Латентный фактор Latent factor PC1		Латентный фактор Latent factor PC4	
Аспект обучения: отсутствие полезных знаний и навыков Training aspect: lack of useful knowledge and skills	0,385	Самостоятельность выбора Independence of choice	0,301
Пол: мужской Sex: male	0,215	Аспект обучения: доход Training aspect: income	0,286
Частота прохождения обучения Frequency of training	-0,150	Сумма, потраченная на обучение Amount spent in training	0,244
Аспект обучения: доход Training aspect: income	-0,160	Аспект обучения: социальный статус Training aspect: social status	0,226
Аспект обучения: полезные связи Training aspect: useful contacts	-0,173	Наличие детей Having children	0,223
Аспект обучения: карьера Training aspect: career	-0,207	Работа: фриланс Job: freelance	0,162
Аспект обучения: получение знаний Training aspect: knowledge	-0,381	Уровень образования Education level	-0,184
Латентный фактор Latent factor PC2		Работа: руководитель среднего звена Job: middle manager	-0,195
Аспект обучения: карьера Training aspect: career	0,310	Формат обучения: переподготовка Training format: retraining	-0,199
Сумма, потраченная на обучение Amount spent on training	0,306	Аспект обучения: карьера Training aspect: career	-0,371
Латентный фактор Latent factor PC5		Латентный фактор Latent factor PC5	
Аспект обучения: доход Training aspect: income	0,265	Работа: линейный специалист Job: line manager	0,366
Аспект обучения: отсутствие полезных знаний и навыков Training aspect: lack of useful knowledge and skills	0,247	Давность последнего обучения Recent training	0,348
Работа: бизнес, управление Job: business, high management	0,181	Пол: женский Sex: female	0,287
Материальное положение Financial situation	0,159	Наличие детей Having children	-0,128
Уровень образования Education level	-0,191	Работа: преподаватель вуза Job: university professor	-0,129
Наличие детей Having children	-0,206	Самостоятельность выбора Independence of choice	-0,149
Работа: линейный специалист Job: line manager	-0,217	Частота прохождения обучения Frequency of training	-0,166
Аспект обучения: получение знаний Training aspect: knowledge	-0,225	Возраст Age	-0,175
Возраст Age	-0,226	Уровень образования Education level	-0,296

		Работа: руководитель среднего звена Job: middle manager	-0,337
Латентный фактор Latent factor PC3		Латентный фактор Latent factor PC6	
Формат обучения: переподготовка Training format: retraining	0,427	Пол: мужской Sex: male	0,446
Аспект обучения: социальный статус Training aspect: social status	0,407	Давность последнего обучения Recent training	0,237
Самостоятельность выбора Independence of choice	0,160	Материальное положение Financial situation	0,189
Частота прохождения обучения Frequency of training	0,144	Формат обучения: переподготовка Training format: retraining	0,185
Пол: женский Sex: female	0,135	Аспект обучения: получение знаний Training aspect: knowledge	0,183
Аспект обучения: доход Training aspect: income	-0,167	Самостоятельность выбора Independence of choice	0,175
Давность последнего обучения Recent training date	-0,217	Возраст Age	-0,175
Работа: бизнес, управление Job: business, high management	-0,218	Частота прохождения обучения Frequency of training	-0,426

В результате было выбрано шесть групп исходных факторов, соответствующих латентным, для которых будет проводиться анализ на предмет согласованности с однородными группами потребителей услуг Lifelong Learning.

Доля объясненной дисперсии показывает, насколько сильно данный латентный фактор обеспечивает изменение целевой переменной, т.е. степени влияния LLL на развитие карьеры потребителей. Факторные нагрузки были выбраны согласно правилу Баргмана [18], при этом положительную зависимость обеспечивают нагрузки больше 0, а отрицательную – меньше 0 (в табл. 2 они выделены затемненными ячейками).

Факторные нагрузки, близкие к 0, означают незначимое влияние исходных показателей на значения соответствующих латентных факторов, поэтому в таблице они не приводятся. Знание факторных нагрузок позволяет построить качественную интерпретацию каждого латентного фактора как совокупности значимых (в смысле ненулевых фактор-

ных нагрузок) исходных факторов. С точки зрения проведенного исследования это означает необходимость построения интерпретации латентных факторов как однородных групп потребителей услуг LLL.

Приведем подробное описание групп потребителей образовательных услуг, соответствующих выделенным латентным факторам.

В первую группу вошли потребители LLL, определяющие свой опыт обучения как неэффективный (соответствуют ответу «ничего не получают от обучения»). Преимущественно это мужчины, которые проходят обучение от случая к случаю, на нерегулярной основе. Для них мотивация к обучению не определяется увеличением дохода, установлением «полезных» связей, карьерным ростом или получением новых знаний. Потребители этой группы не самостоятельны при выборе программ обучения, они вынуждены обучаться под действием внешних обстоятельств. Такие потребителя составили 20 % от общего числа (рис. 2).

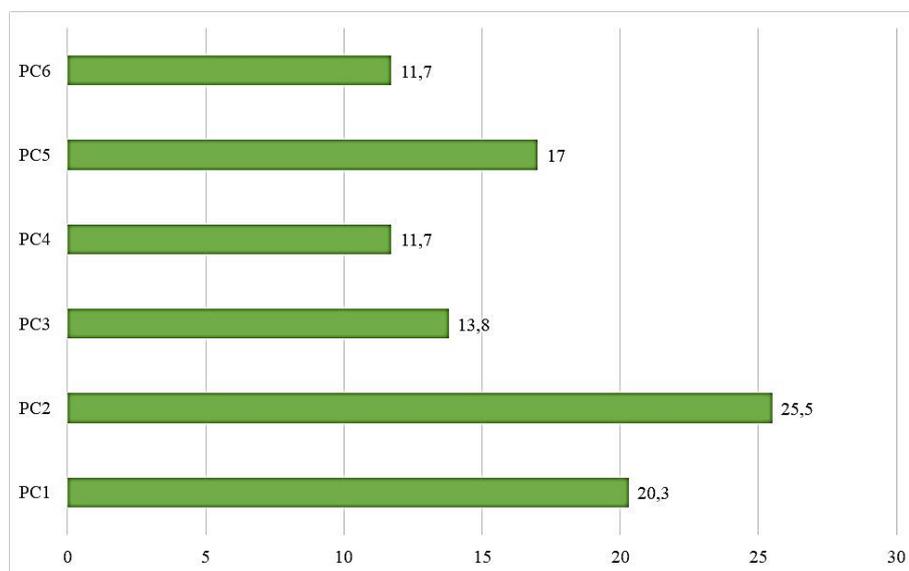


Рисунок 2. Доля числа потребителей с высокими значениями латентных факторов, %
Figure 2. Share of number of consumers with high values of latent factors, %

Вторая группа объединяет мужчин и женщин, возраст которых не превышает 35 лет, главным приоритетом которых выступают не семейные ценности, а построение карьеры. Представители этой группы достаточно часто участвуют в различных образовательных мероприятиях. В основном они занимаются развитием собственного бизнеса и имеют стабильное материальное положение. Однако, базовый уровень их образования, как правило, средний, или они имеют незаконченное высшее образование. Поэтому они чувствуют необходимость в получении необходимого опыта и навыков и не «жалуют» средств на оплату соответствующих образовательных программ. Эта группа потребителей является наиболее многочисленной – 25 % от общего числа (рис. 2).

Третья группа включает, главным образом, женщин, выбирающих формат обучения в виде программ переподготовки, что обусловлено желанием сменить сферу деятельности или получить более статусное рабочее место. Они не имеют собственного бизнеса, работают по найму на низкооплачиваемых должностях. При этом они регулярно принимают решения о прохождении обучения, выбирают тематику и форму прохождения программ и на их выбор никто не оказывает давление. Их можно охарактеризовать как «ищущих себя». Эта группа включает 14% от общего числа (рис. 2).

Четвертую группу составляют женщины, работающие фрилансерами или самозанятыми, некоторые из них находятся в декретном отпуске. Они самостоятельно выбирают программы LLL, чтобы повысить социальный статус и увеличить свои доходы. Они имеют четкие цели в обучении и выбирают определенную сферу для развития, чтобы стать профессионалом в своем деле. На обучение тратят суммы чуть меньше, чем вторая группа. Уровень их образования – средний, продвижение по карьерной лестнице не их не интересует. Доля этой группы в общем составе – 12 % (рис. 2).

В пятую группу входят женщины в возрасте до 35. Они работают линейными специалистами, не имеют детей и высшего образования. Сфера их деятельности не касается сферы образования и культуры, большей частью они трудоустроены на промышленных предприятиях на не руководящих должностях. При этом, чтобы занять соответствующее рабочее место им необходимо проходить обязательное обучение. Это третья по количеству респондентов группа – 17 % от общего числа.

В шестую группу вошли мужчины, в возрасте до 40 лет, имеющие хорошее материальное положение, которые самостоятельно выбирают определенную программу обучения с целью получения конкретных знаний. Предпочитаемый формат обучения – программы переподготовки, поскольку базовое образование или обучающие курсы они проходили более 3–5 назад. Они составляют 12 % от общего числа.

Среди выделенных однородных групп потребителей можно отметить как тех, кто высоко мотивирован на выбор программы обучения, так и тех, кто вынужден проходить соответствующие образовательные программы под влиянием внешних или внутренних обстоятельств.

Выделенные латентные факторы позволяют не только построить интерпретацию в терминах исходных показателей, но и оценить значения латентных

показателей как линейные комбинации значений исходных показателей с весовыми коэффициентами, равными факторным нагрузкам. Таким образом, наибольшее число потребителей соответствует группам 2, 3 и 5. При этом 27,7 % потребителей демонстрируют признаки соответствия сразу нескольким группам, что означает наличие смешанных типов поведенческого поведения относительно приобретения образовательных услуг. Такая доля общего числа респондентов позволяет предположить, что для привлечения таких потребителей могут быть эффективными мероприятия, разрабатываемые для каждой группы в отдельности.

ВЫВОДЫ

1. Большинство респондентов считает, что возможность самостоятельного планирования процесса обучения, включая его темп, характер и содержание, является основной мотивацией. В начале опроса всего около 10 % (главным образом, женщины) выразили положительное отношение к жестко заданным характеристикам обучения. Однако, после прохождения обучения количество женщин, предпочитающих строгую структуру образовательного процесса и график, увеличилось в два раза.

2. Из-за стереотипного восприятия институционализированного обучения, взрослые плохо воспринимают теоретические основы профессионального обучения. Однако в процессе обучения этот стереотип был разрушен, произошло переосмысление значимости как теоретического блока в обучении, так и непосредственно, блока самостоятельной работы.

3. Менее 50 % респондентов предпочитают групповые занятия и совместную работу с преподавателем. Это представители, большей частью, мужского населения, предпочитающих индивидуальную траекторию занятий. Однако, в результате вторичного опроса подавляющее большинство респондентов признало важность групповой работы.

4. Результаты опроса также показали, что 20 % респондентов изначально не планируют заниматься психологией, а треть опрошенных готова учиться и работать в этой сфере, если бы у них была такая возможность. Почти 50 % респондентов (в большинстве, мужское население) ориентировано на профессиональную деятельность как на прямой и обязательный результат обучения.

Таким образом, обучение на протяжении всей жизни является важным подходом к личностному развитию человека, а также к получению информации о его профессиональной деятельности с точки зрения основных характеристик и областей практики. В частности, быстрые изменения в информации и технический прогресс в мире сделали обучение на протяжении всей жизни необходимым для отдельных категорий людей. Следует повышать осведомленность о подходе к обучению на протяжении всей жизни посредством таких мероприятий, как семинары, конференции, дискуссионные группы и т.д.

Непрерывность обучения на протяжении всей жизни также означает, что различные уровни и секторы образования и систем профессиональной подготовки, включая неформальные сферы, должны работать в тесном взаимодействии друг с другом. Создание ориентированной на человека сети возможностей обучения на протяжении всей жизни представляет концепцию постепенного сближения структур

обеспечения, которые сегодня остаются относительно разобщенными друг от друга.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Куприна Н.К., Кучубин Р.О., Афанасьев М.А. Интериоризация лицами старшего возраста Республики Адыгея ценностей непрерывного образования (lifelong learning) // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 3: Педагогика и психология. 2022. N 2(298). С. 24–29. DOI: 10.53598/2410-3004-2022-2-298-24-29
2. Bakhtiyarov S.B. The need for the principle of «lifelong learning» in professional development // *Annali d'Italia*. 2022. N 35. P. 12–14. DOI: 10.5281/zenodo.7107673
3. Nguyen Q.T., Nguyen T.D.T., Nguyen T.T.T. Enhancing teachers' capacity for «lifelong learning» in secondary schools in Vietnam // *Science, technology and education*. 2022. N 1(84). P. 88–93. DOI: 10.24411/2312-8267-2022-10105
4. Ng B. Conceptualizing Lifelong Learning for K-12 Education // *Journal of Research Initiatives*. 2023. V. 7. Iss. 2. Article id: 9. URL: <https://digitalcommons.unctfsu.edu/jri/vol7/iss2/9> (дата обращения: 03.01.2024)
5. Atchoarena D., Howells A. Advancing learning cities: Lifelong learning and the creation of a learning society // In: *Powering a Learning Society During an Age of Disruption*. Singapore: Springer, 2021. P. 165–180.
6. Miller L., Wu J.G. From structured to unstructured learning via a technology-mediated learning framework // *EAI Endorsed Transactions on e-Learning*. 2018. V. 5. N 17. P. 1–9. DOI: 10.4108/eai.25-9-2018.155575
7. Пешкова Т.А. Lifelong learning – обучение на протяжении всей жизни // ВУЗ и реальный бизнес. 2019. Т. 1. С. 57–64.
8. Лапшова Е.С., Левченко В.В. От «образования для взрослых» к «обучению на протяжении всей жизни» // Проблемы современного педагогического образования. 2020. N 68-2. С. 199–202.
9. Бакурадзе Н., Ревазшвили Т. Образование для взрослых – обучение на протяжении всей жизни для самореализации // Научный журнал Власть и общество (История, Теория, Практика). 2022. N 1(61). С. 52–62.
10. Мухлаева Т.В., Литвинова Н.П. Платформа обучения на протяжении всей жизни – пространство реализации ведущей стратегии современного образования // Человек и образование. 2018. N 3(56). С. 145–151.
11. Шевченко К.В. Влияние реализации стратегического приоритета «качественное образование на протяжении всей жизни» на развитие занятости населения в регионе // Экономическое возрождение России. 2023. N 1(75). С. 140–148. DOI: 10.37930/1990-9780-2023-1-75-140-148
12. Шацкая И.В. Стратегирование развития непрерывного образования // Стратегирование: теория и практика. 2022. Т. 2. N 1. С. 1–11. DOI: 10.21603/2782-2435-2022-2-1-1-11
13. Kvint V., Bodrunov S. *Strategizing societal transformation: knowledge, technologies, and Noonomy*. Palm Bay: Apple Academic Press, 2023. 228 p.
14. Аганбегян А.Г. О приоритетном развитии сферы экономики знаний // Экономическое возрождение России. 2021. N 1(67). С. 15–22. DOI: 10.37930/1990-9780-2021-1-67-15-22
15. Barkhordari S., Fattahi M., Azimi N.A. The Impact of Knowledge-Based Economy on Growth Performance: Evidence from MENA Countries // *Journal of the Knowledge Economy*. 2019. V. 10. P. 1168–1182. <https://doi.org/10.1007/s13132-018-0522-4>
16. Ślęczka R., Kähler U., Reissig M., Sabadini I., Vindas J., eds. *Alarming Changes in Polish Education vs Longlife and Remote Learning // Analysis, Applications, and Computations: Proceedings of the 13th ISAAC Congress*, Ghent, Belgium, 2021. 2023. P. 175–180. https://doi.org/10.1007/978-3-031-36375-7_11
17. Withnall A. A Global Perspective on Later Life Learning // *Taiwan's Senior Learning Movement*. 2022. V. 28. P. 23–36. https://doi.org/10.1007/978-3-030-93567-2_3
18. Эконометрика: учебник для вузов / под ред. И.И. Елисеевой. Москва: Юрайт, 2023. 449 с.

REFERENCES

1. Kuprina N.K., Kuchubin R.O., Afanasyev M.A. Internalization of values of lifelong learning by the elderly of the Republic of Adygea. *Bulletin of the Adygea State University. Series 3: Pedagogy and Psychology*, 2022, no. 2(298), pp. 24–29. (In Russian) DOI: 10.53598/2410-3004-2022-2-298-24-29
2. Bakhtiyarov S.B. The need for the principle of «lifelong learning» in professional development. *Annali d'Italia*, 2022, no. 35, pp. 12–14. DOI: 10.5281/zenodo.7107673
3. Nguyen Q.T., Nguyen T.D.T., Nguyen T.T.T. Enhancing teachers' capacity for «lifelong learning» in secondary schools in Vietnam. *Science, technology and education*, 2022, no. 1(84), pp. 88–93. DOI: 10.24411/2312-8267-2022-10105
4. Ng B. Conceptualizing Lifelong Learning for K-12 Education. *Journal of Research Initiatives*. 2023, vol. 7, iss. 2, Article id: 9. Available at: <https://digitalcommons.unctfsu.edu/jri/vol7/iss2/9> (accessed 03.01.2024)
5. Atchoarena D., Howells A. Advancing learning cities: Lifelong learning and the creation of a learning society. In: *Powering a Learning Society During an Age of Disruption*. Singapore, Springer Publ., 2021, pp. 165–180.
6. Miller L., Wu J.G. From structured to unstructured learning via a technology-mediated learning framework. *EAI Endorsed Transactions on e-Learning*, 2018, vol. 5, no. 17, pp. 1–9. DOI: 10.4108/eai.25-9-2018.155575
7. Peshkova T.A. Lifelong learning – lifelong learning. *VUZ i real'nyi biznes [University and real business]*. 2019, vol. 1, pp. 57–64. (In Russian)
8. Lapshova E.S., Levchenko V.V. From «adult education» to «lifelong learning». *Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya [Problems of modern pedagogical education]*. 2020, no. 68-2, pp. 199–202. (In Russian)
9. Bakuradze N., Revazishvili T. Adult education – lifelong learning for self-realization. *Vlast' i obshchestvo (Istoriya, Teoriya, Praktika) [Government and society (History, Theory, Practice)]*. 2022, no. 1(61), pp. 52–62. (In Russian)
10. Mukhlaeva T.V., Litvinova N.P. Lifelong learning platform – the space for implementing the leading strategy of modern education. *Chelovek i obrazovanie [Man and education]*. 2018, no. 3(56), pp. 145–151. (In Russian)
11. Shevchenko K.V. The impact of the implementation of the strategic priority «quality education throughout life» on the development of employment in the region. *Economic revival of Russia*, 2023, no. 1(75), pp. 140–148. (In Russian) DOI: 10.37930/1990-9780-2023-1-75-140-148

12. Shatskaya I.V. Strategizing the development of continuing education. *Strategizing: theory and practice*, 2022, vol. 2, no. 1, pp. 1–11. (In Russian) DOI: 10.21603/2782-2435-2022-2-1-1-11
13. Kvint V., Bodrunov S. Strategizing societal transformation: knowledge, technologies, and Noonomy. Palm Bay, Apple Academic Press Publ., 2023, 228 p.
14. Aganbegyan A.G. On the priority development of the knowledge economy. *The economic revival of Russia*, 2021, no. 1(67), pp. 15–22. (In Russian) DOI: 10.37930/1990-9780-2021-1-67-15-22
15. Barkhordari S., Fattahi M., Azimi N.A. The Impact of Knowledge-Based Economy on Growth Performance: Evidence from MENA Countries. *Journal of the Knowledge Economy*, 2019, vol. 10, pp. 1168–1182. <https://doi.org/10.1007/s13132-018-0522-4>
16. Ślęczka R., Kähler U., Reissig M., Sabadini I., Vindas J., eds. Alarming Changes in Polish Education vs Longlife and Remote Learning. *Analysis, Applications, and Computations: Proceedings of the 13th ISAAC Congress, Ghent, Belgium, 2021, 2023*, pp. 175–180. https://doi.org/10.1007/978-3-031-36375-7_11
17. Withnall A. A Global Perspective on Later Life Learning. *Taiwan's Senior Learning Movement*, 2022, vol. 28, pp. 23–36. https://doi.org/10.1007/978-3-030-93567-2_3
18. Eliseeva I.I. *Ekonometrika: uchebnik dlya vuzov* [Econometrics: textbook for universities]. Moscow, Yurait Publ., 2023, 449 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Марина Е. Цой разработала дизайн эмпирического исследования, теоретически интерпретировала данные эмпирического исследования для обоснования модели, подготовка рукописи. Владислав Ю. Щеколдин подготовил и отредактировал текст, применил статистические, математические, вычислительные или другие формальные методы для анализа и синтеза данных исследования. Наталия В. Яковенко провела библиографический обзор зарубежной и отечественной литературы по тематике исследования, описание модели, подтверждение окончательного варианта статьи. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Marina Ye. Tsoy developed the design of the empirical study, theoretically interpreted the empirical research data to substantiate the model and prepared the manuscript. Vladislav Yu. Shchekoldin undertook the application of statistical, mathematical, computational or other formal methods to the analysis and synthesis of research data and prepared and edited the text. Nataliya V. Yakovenko conducted a bibliographic review of foreign and domestic literature on the subject of the study, described the model and confirmed of the final version of the article. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Марина Е. Цой / Marina Ye. Tsoy <https://orcid.org/0000-0002-5076-5189>

Владислав Ю. Щеколдин / Vladislav Yu. Shchekoldin <https://orcid.org/0000-0001-8016-1282>

Наталия В. Яковенко / Nataliya V. Yakovenko <https://orcid.org/0000-0003-4203-0040>

Оригинальная статья / Original article

УДК 338.24

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-14



Особенности финансового обеспечения экологических проектов в зеленой экономике

Назирхан Г. Гаджиев¹, Александр М. Плешаков²¹Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия²Научно-исследовательский институт ФСИН России, Москва, Россия

Контактное лицо

Назирхан Г. Гаджиев, доктор экономических наук, профессор, заведующий, кафедра экономической безопасности, анализа и аудита, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет»; 367000 Россия, г. Махачкала, ул. Гаджиева, 43 а.
Тел. +79673959394
Email nazirhan55@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6321-3543>

Формат цитирования

Гаджиев Н.Г., Плешаков А.М. Особенности финансового обеспечения экологических проектов в зеленой экономике // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 1. С. 134-144.
DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-14

Получена 20 октября 2023 г.

Прошла рецензирование 14 декабря 2023 г.

Принята 15 января 2024 г.

Резюме

Статья посвящена исследованию основных форм, методов и проблем финансирования экологических проектов в рамках функционирования зеленой экономики с учетом специфики функционирования отечественной финансовой системы. Актуальность исследования заключается в том, что достижение основных параметров заявленного зеленого курса экономики невозможно без применения наиболее прогрессивных форм, методов и инструментов финансового обеспечения экологических проектов. Цель работы заключается в исследовании теоретических аспектов финансового обеспечения экологических проектов в РФ, способствующих переходу к зеленому курсу экономики и повышению эффективности в реализации данных проектов.

При проведении исследования применялись общенаучные методы познания: диалектический материализм, наблюдения, инспектирование. Для обобщения отечественного и зарубежного опыта финансового обеспечения экологических проектов применялись методы экономико-статистического анализа, сравнения и обобщения. Исследовав особенности финансового обеспечения зеленой экономики, авторским коллективом сделан вывод о преобладании государственного финансирования инвестиционных проектов в сфере экологии, при этом механизм частно-государственного партнерства по факту не функционирует на должном уровне, частные инвестиции в экологические проекты с позиции рентабельности и доходности являются непривлекательными. В настоящее время объем финансирования перехода к «зеленому курсу» находится на уровне 20–25% от необходимой потребности для реализации амбициозного проекта, в связи с этим требуется поиск путей, направленных на повышение эффективности финансирования зеленой экономики. Авторами изучены особенности финансового обеспечения экологических проектов в зеленой экономике. Выявлены проблемы финансирования, даны рекомендации по их решению.

Ключевые слова

Зеленая экономика, финансирование, финансовые инструменты, проблемы, мероприятия.

Features of financial support for environmental projects in the green economy

Nazirkhan G. Gadzhiev¹ and Alexander M. Pleshakov²

¹Dagestan State University, Makhachkala, Russia

²Research Institute, Federal Penitentiary Service of Russia, Moscow, Russia

Principal contact

Nazirkhan G. Gadzhiev, Doctor of Economics, Professor & Head, Department of Economic Security, Analysis and Audit, Dagestan State University; 43 Gadzhieva St, Makhachkala, Russia 367000.

Tel. +79673959394

Email nazirhan55@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6321-3543>

How to cite this article

Gadzhiev N.G., Pleshakov A.M. Features of financial support for environmental projects in the green economy. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(1):134-144. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-14

Received 20 October 2023

Revised 14 December 2023

Accepted 15 January 2024

Abstract

The article is devoted to the study of the main forms, methods and problems of financing environmental projects within the framework of the functioning of the green economy, taking into account the specifics of the functioning of the domestic financial system. The relevance of the study lies in the fact that achieving the main parameters of the declared green economic course is impossible without the use of the most progressive forms, methods and instruments of financial support for environmental projects. The purpose of the work is to study the theoretical aspects of financial support for environmental projects in the Russian Federation, contributing to the transition to a green economic course and increasing efficiency in the implementation of these projects.

When conducting the study, general scientific methods of cognition were used: – dialectical materialism, inspection observation; methods of economic and statistical analysis, comparison and generalization were used to generalise domestic and foreign experience in the financial support of environmental projects.

Having studied the features of financial support for the green economy, the team of authors concluded that there is a predominance of state financing of investment projects in the field of ecology, while the mechanism of public-private partnership in fact does not function at the proper level and private investments in environmental projects are unattractive from the standpoint of profitability and profitability. Currently, the volume of financing for the transition to the “green deal” is at the level of 20–25% of the required need for the implementation of an ambitious project: in this regard it is necessary to search for ways aimed at increasing the efficiency of financing the green economy.

The authors studied the features of financial support for environmental projects in the green economy. Financing problems are identified and recommendations for solving them are given.

Key Words

Green economy, financing, financial instruments, problems, events.

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня общемировой тенденцией и миссией многих стран является переход к зеленой экономике, при этом вопросы финансового обеспечения инвестиционных проектов, использования новых финансовых инструментов являются сравнительно малоизученными. Вместе с тем по оценкам экспертов переход к зеленому курсу требует огромных финансовых ресурсов и инвестиций, в связи с чем требуется обеспечить эффективный механизм создания финансовой системы зеленой экономики [1].

Финансовое обеспечение зеленой экономики имеет ключевое значение для реализации заявленных параметров устойчивого развития к 2050 году [2].

Под финансовым обеспечением зеленой экономики Green Finance Study Group, GFSG рассматривается процесс финансирования инвестиций (financing of investments), обеспечивающий нивелирование экологических рисков, формирующие экологические выгоды и преимущества в целях устойчивого развития [3].

Государственная корпорация ВЭБ.РФ, осуществляющая свою деятельность на основании распоряжения Правительства РФ от 18.11.2020 № 3024-р, определяет «зеленое» финансирование как финансовые инструменты для осуществления проектов в сфере биосферы, экологии и изменения климата. Финансовое обеспечение представляет собой комплекс мер, направленных на создание условий перехода к использованию технологий сохранения экологических систем за счет создания замкнутого цикла переработки отходов, формирование возобновляемых источников энергии и минимизацию негативного воздействия продуктов жизнедеятельности человека на окружающую среду.

Ряд экономистов определяет зеленое финансирование как инструмент экономических отношений, определяемых финансированием мероприятий по обеспечению экологической безопасности, борьбе с климатическими изменениями, переходом к декарбонизации и энергоэффективной экономике, эффективным управлением экологическими рисками, проведением государственного финансового контроля в изучаемых сферах общественных отношений [4].

Структурно «зеленое» финансирование может состоять из следующих важнейших блоков:

- «зеленое» бюджетирование;
- «зеленое» налогообложение и прочие обязательные платежи;
- «зеленые» финансовые инструменты [5].

Государственное финансирование проектов, связанных с экологией, биосферой, климатом и переходом к низкоуглеродной экономике, базируется на системе, интегрирующей в себя следующие элементы:

1) законодательные акты, с помощью которых утверждаются бюджеты, – устанавливают размеры государственного финансирования на отчетный финансовый год. Согласно ст. 21 БК РФ законодательно установлен отдельный раздел классификации расходов бюджетов бюджетной системы РФ: «Охрана окружающей среды», включающий подразделы «Экологический контроль», «Сбор, удаление отходов и очистка сточных вод», «Охрана объектов растительного

и животного мира и среды их обитания», «Прикладные научные исследования в области охраны окружающей среды», «Другие вопросы в области охраны окружающей среды». Законом о федеральном бюджете на 2022 г. и плановый период 2023 и 2024 гг. определено финансирование в размере 482 359 398,5 тыс. руб. по требуемому разделу;

2) государственные (муниципальные) программы – форма оперативного и среднесрочного бюджетного финансирования нацеленное на формирование инвестиционных потоков в сферу экологии.

3) национальные проекты – важнейшие виды государственной политики с специальным режимом управления. В конце 2018 г. Советом при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам был утвержден Паспорт национального проекта «Экология». Данный Нацпроект реализуется в рамках государственных программ развития «Охрана окружающей среды», «Воспроизводство и использование природных ресурсов» и «Развитие лесного хозяйства». Структурно Национальный проект состоит из определенных федеральных проектов [6].

Зеленое налогообложение. Прежде всего в нашей стране введен ряд налогов, которые можно считать экологическими. В частности, это: налог на добычу полезных ископаемых (НДПИ), водный налог, налог на дополнительный доход от добычи углеводородного сырья (НДД), земельный налог, плата за негативное воздействие на окружающую среду, экологический сбор. Вместе с тем большинство налогов (за исключением экологического сбора и платы за негативное воздействие на окружающую среду) не являются целевыми и не осуществляют финансирование мероприятий по переходу к энергоэффективной экономике или «зеленой» экономике. Такой подход, безусловно, отрицательно влияет на механизм финансового обеспечения зеленой экономики и не позволяет формировать необходимую финансовую базу за счет действующих систем налогообложения [7].

Зеленые финансовые инструменты условно можно подразделить на:

1. «Зеленые» облигации (green bonds) – долговые ценные бумаги, используемые в целях финансирования инвестиционных проектов в сфере экологии. К таким облигациям относят:

– «лесные» облигации – эмитируемые на финансовом рынке для финансового обеспечения инвестиционных и текущих проектов, связанных с защитой леса;

– «голубые» облигации – используются для финансового обеспечения проектов, необходимых в части эффективного использования ресурсов морей или океана;

– «белые» облигации – являются источником финансирования экологических инвестиций в развитие Арктики и Северного морского пути.

2. «Зеленые» кредиты – форма ссудного капитала, ориентированная на реализацию инвестиционных проектов в сфере экологии и перехода к зеленой экономике, например, «зеленый» автокредит; «зеленая» ипотека, «зеленая» модернизация и реконструкция производственного цикла и т.д.

3. Параметрическое (индексное) страхование. Суть данного страхования заключается в прописании страховщиком в договоре условий выплат страхового возмещения только при превышении определенных параметров экологической безопасности.

4. «Зеленый» краудфандинг – вид паевого софинансирования экологических проектов, на базе действующих венчурных площадок [8].

Отдельно ряд исследователей выделяют такую форму финансового обеспечения зеленой экономики, «как зеленый банкинг», имеющий широкое распространение за рубежом. В основе зеленого банкинга лежат два постулата:

1) инвестирование только в те проекты, которые соблюдают международные стандарты в сфере экологической безопасности; 2) кредитование только тех клиентов, деятельность которых не приносит вред окружающей среде. При этом важной составляющей деятельности таких банков является обязательное предоставление экологической отчетности (в рамках, например, непубличной финансовой отчетности).

Косвенным инструментом финансового обеспечения зеленой экономики следует признать предоставление налоговых льгот для предприятий, производящих экологически чистое оборудование и оборудование в сфере охраны окружающей среды.

Другим косвенным инструментом необходимо считать экоипотеку, когда заемщик получает возможность получить льготный процент по ипотеке в случае покупки жилья высокого класса энергоэффективности и экологичности [9].

Таким образом, финансовое обеспечение зеленой экономики имеет ключевое значение для достижения запланированных показателей устойчивого развития экономики в среднесрочной и долгосрочной перспективе. Инструментами такого обеспечения чаще всего выступают финансовые инструменты, специальные системы налогообложения для экологических предприятий, различные формы экоипотек, использование венчурных площадок для финансирования общественных проектов в сфере экологии. Отдельным перспективным направлением финансирования является развитие параметрического (индексного) страхования в сфере экологии.

Нормативно-правовое регулирование финансового обеспечения зеленой экономики в России

В России вопросы нормативного правового регулирования финансирования «зеленой» экономики необходимо решать через призму достижения целей Национального проекта «Экология» и его девяти федеральных проектов.

Указ Президента РФ от 19.04.2017 № 176 «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» устанавливает, что базовыми инструментами реализации Стратегии являются государственные программы РФ и непрограммные направления деятельности. Приоритетными направлениями являются: возобновляемая электроэнергетика, создание и развитие мирного атома, уменьшение вредных выбросов, формирование эффективной системы мониторинга экологической обстановки, внедрение системы искусственного интеллекта для реализации экологических проектов.

В целях стимулирования непрограммных направлений деятельности было утверждено

Постановление Правительства РФ от 21 сентября 2021 г. № 1587 «Об утверждении критериев проектов устойчивого (в том числе зеленого) развития в Российской Федерации и требований к системе верификации проектов устойчивого (в том числе зеленого) развития в РФ», в котором определена таксономия зеленых проектов. Введение в действие данного нормативного правового акта обеспечивает определения сущности, классификации финансовых инструментов, необходимых для реализации инвестиционных проектов в сфере экологии. Отдельно установлены экономические и финансовые ориентиры достижения эффективности проектов.

Вместе с тем зеленое финансирование осуществляется в рамках прежде всего национальных и федеральных проектов.

В 2016–2021 гг. ряд организаций и государственных учреждений участвовали в осуществлении проекта, целью которого было сохранение занесенных в Красную книгу видов крупных кошачьих в стране. Итоговый размер финансирования проекта – 60 млн. долл. США.¹

Отдельно следует остановиться на финансировании зеленых проектов крупными государственными корпорациями и учреждениями. АО «ПочтаБанк» принимает участие в финансировании деятельности по расширению лесных насаждений, итогом проекта станет увеличение темпов поглощения двуокиси углерода и улучшение экологической обстановки.²

В 2020 г Банк России внедрил в свою деятельность Национальный стандарт зеленых финансов в России, который основывался на международных принципах ICMA (Международная ассоциация рынков капитала), CBI (Climate Bond Initiative – Инициатива климатических облигаций), а также национального проекта «Экология». В том же году появились Методические рекомендации по зеленому финансированию, которые направлены на привлечение частных инвестиций в «зеленое» финансирование.³ В настоящее время из-за начала СВО на Украине межгосударственное сотрудничество в сфере разработки стандартов зеленого финансирования приостановлено, а финансирование национальных проектов в сфере экологии скорректировано.

В нашей стране в 2018 г. впервые были размещены на финансовом рынке «зеленые» облигации на сумму 1,1 млрд. руб. компанией «Ресурсосбережение ХМАО», которая реализовывала концессионный проект, направленный на обеспечение строительства полигона для переработки твердых коммунальных отходов для городов.

В 2019 году на Ирландской бирже были размещены «зеленые» еврооблигации ОАО «РЖД» на 500 млн. евро со сроком погашения 8 лет. Данные ценные бумаги были предназначены для финанси-

¹ «Паспорт приоритетного проекта «Дикая природа России: сохранить и увидеть»

(утв. президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и приоритетным проектам, протокол от 11.04.2017 № 4)»

² Распоряжение Правительства РФ от 11.02.2021 № 312-р «Об утверждении Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года»

³ ESG-финансирование // URL: <https://veb.ru/ustojchivoerazvitie/zeljonoefinansirovanie/> (дата обращения: 02.02.2022)

вания строительства и приобретения экологически чистых поездов.

В 2020 г. пять российских эмитентов разместили семь выпусков "зеленых" облигаций (7,55 млрд. руб. и 500 млн. евро), предназначенных для реализации проектов в сферах энергетики, транспорта, недвижимости и ЖКХ.

Сегодня основным источником зеленого финансирования в РФ являются бюджетные средства. Согласно Закону о федеральном бюджете на 2022 г. и плановый период 2023 и 2024 гг. выделяются межбюджетные трансферты бюджетам субъектов РФ на реализацию мероприятий по ликвидации несанкционированных свалок в границах городов.

Следует отметить, что до начала 2000-х гг. в рамках бюджетной системы страны существовала целая система экологических внебюджетных фондов, функционировавших на федеральном и региональном уровнях. Задачи Федерального экологического фонда РФ заключались в финансировании и кредитовании инвестиционных проектов, направленных на улучшение качества экологии. В то же время Федеральный экологический фонд был ликвидирован, а позже упразднили и территориальные экологические фонды. После этого в ряде субъектов РФ были образованы экологические фонды в составе региональных бюджетов (которые были также ликвидированы из-за нехватки финансирования) [10].

Такая ликвидация имела, прежде всего, ряд негативных последствий:

- недореализация отдельных инвестиционных проектов;
- утрата доверия к коммерческой деятельности в сфере экологических проектов;
- отказ от программно-целевого метода финансирования ряда проектов.

В нашей стране финансирование зеленой экономики также осуществляется за счет действия компенсационного механизма в налоговой сфере. К компенсационным платежам следует отнести утилизационный сбор, целью уплаты которого является обеспечение экологической безопасности. Компенсационный характер носит и экологический сбор: согласно п. 11 ст. 24.5 того же Закона поступающие в федеральный бюджет средства предоставляются для выполнения нормативов отходов от использования товаров, обязанность по утилизации которых исполнена производителями и импортерами товаров путем уплаты экологического сбора. Вместе с тем, как подчеркивалось выше, этих налогов явно недостаточно для реализации как национальных проектов, так и для выполнения намеченных мероприятий в рамках зеленого курса развития экономики.

В настоящее время Распоряжением Правительства РФ от 14.07.2021 № 1912-р «Об утверждении целей и основных направлений устойчивого (в том числе зеленого) развития Российской Федерации» определены цели и базовые направления устойчивого («зеленого») развития, которые призваны развивать инвестиционную деятельность и привлекать внебюджетные средства в «зеленые» проекты.

Постановление Правительства РФ от 21.09.2021 № 1587 «Об утверждении критериев проектов устойчивого (в том числе зеленого) развития) в

Российской Федерации» определило основные критерии соответствия «зеленым» инвестиционным проектам.

Таким образом, система нормативного регулирования финансового обеспечения зеленой экономики в России включает сочетание как государственного финансирования за счет средств бюджета РФ и реализации государственных программ и национальных проектов, так и за счет привлечения средств частных инвесторов, чаще всего в рамках регионального законодательства или корпоративного финансирования на условиях частно-государственного партнерства.

Вместе с тем в системе нормативного регулирования вопросы венчурного софинансирования экологических проектов проработаны весьма слабо, а в условиях возможной национализации жилищно-коммунального хозяйства и передачи его на баланс государственным органам остается проблема прибыльности экологических проектов на базе частно-государственного партнерства.

Отдельно следует указать, что нормативное регулирование зеленого софинансирования имеет ряд существенных законодательных ограничений, в частности законодательные основы базируются на правилах листинга и эмиссии ценных бумаг на международных биржах и по сути не попадают под юрисдикцию национального законодательства, что делает данную сферу относительно независимой для инвесторов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе научного исследования применялись такие методы, как диалектический подход к познанию предмета исследования, описательный метод, логико-формальный метод, метод сравнения и обобщения информации. При описании финансового обеспечения зеленой экономики применялся сравнительный подход с учетом мирового опыта. В качестве базового метода оценки объема финансирования экологических проектов использовались методы экономико-статистического анализа (горизонтальный и вертикальный анализ).

Анализ финансового обеспечения зеленого курса

Национальный проект «Экология» включает реализацию следующих проектов, направленных на реализацию зеленых инициатив государства:

1. Федеральный проект «Комплексная система мониторинга качества окружающей среды», реализуется с 31.07.2021 по 31.12.2024 год.
2. Федеральный проект «Чистая страна», реализуется с 01.10.2018 по 31.12.2024 год.
3. Федеральный проект «Комплексная система обращения с твердыми коммунальными отходами», реализуется с 01.10.2018 по 31.12.2024 год.
4. Федеральный проект «Инфраструктура для обращения с отходами I – II классов опасности», реализуется с 01.10.2018 по 31.12.2024 год.
5. Федеральный проект «Чистый воздух», реализуется с 01.10.2018 по 31.12.2024 год.
6. Федеральный проект «Оздоровление Волги», реализуется с 01.10.2018 по 31.12.2024 год.
7. Федеральный проект «Сохранение озера Байкал», реализуется с 01.10.2018 по 31.12.2024 год.

8. Федеральный проект «Сохранение уникальных водных объектов», реализуется с 01.10.2018 по 31.12.2024 год.

9. Федеральный проект «Сохранение биологического разнообразия и развитие экологического туризма», реализуется с 01.10.2018 по 31.12.2024 год.

10. Федеральный проект «Сохранение лесов», реализуется с 01.10.2018 по 31.12.2024 год [11].

Приоритетные программы и проекты в сфере финансирования зеленого курса представлены следующими проектами:

1. Снижение негативного воздействия на окружающую среду и снижения доли захоронения твердых коммунальных отходов. В рамках проекта «Чистая страна» реализуется с 01.10.2017 по 31.12.2025 год.

2. Приоритетный проект «Дикая природа России: сохранить и увидеть». Реализовывался с 17.04.2017 – 28.02.2021 г.

3. Приоритетный проект «Сохранение и предотвращение загрязнения реки Волги», реализуется с 30.08.2017 по 25.12.2025 год.

Следовательно, система финансового обеспечения зеленой экономики со стороны государства представлен двумя уровнями:

1. Федеральные проекты в сфере экологии

2. Приоритетные проекты в сфере экологии [12].

При этом к зеленой экономике напрямую можно отнести следующие разделы Национального проекта «Экология»:

1. Создание благоприятных нормативных, финансовых и организационных условий для модернизации технологий в сфере экологии и охраны окружающей среды.

2. Создание условий для устойчивого развития особо охраняемых природных территорий и экологического туризма. Данное направление предполагает реализацию следующих критериев:

– увеличение количества федеральных особо охраняемых природных территорий;

– увеличение площади федеральных особо охраняемых природных территорий;

– увеличение количества посетителей особо охраняемых природных территорий.

3. Внедрение наилучших доступных технологий в сфере экологии [13].

Таблица 1. Финансовое обеспечение Зеленой экономики

Table 1. Financial support for the Green Economy

N п/п	Источники финансового обеспечения Sources of financial support	Объем финансового обеспечения по годам реализации (млн. рублей) Volume of financial support by year of implementation (million rubles)						
		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
1	Федеральный проект «Чистая страна» Federal project "Clean Country"	9643,8	17989,3	13575	54660,4	56578,2	21851,6	0
2	Федеральный проект «Комплексная система обращения с твердыми коммунальными отходами» Federal project "Integrated Municipal Solid Waste Management System"	27532,4	96694,9	91048	50389,8	15776,2	14452,7	10295
3	Федеральный проект «Инфраструктура для обращения с отходами I – II классов опасности» Federal project "Infrastructure for Waste Management of I-II Hazard Classes"	375,7	1913	11154	12683	29534	9512,5	0
4	Федеральный проект «Чистый воздух» Federal project "Clean Air"	105471	80338,4	36398	41568,6	45152	56057	10716
5	Федеральный проект «Чистая вода» Federal project "Clean Water"	6789	15048	0	0	0	0	
6	Федеральный проект «Оздоровление Волги» Federal project "Improvement of the Volga"	19008	26986	30092	37458	28527	39519	1337
7	Федеральный проект «Сохранение озера Байкал» Federal project "Preservation of Lake Baikal"	2 867	3247	4458	8704	17265	8775	1123
8	Федеральный проект «Сохранение уникальных водных объектов» Federal project "Preservation of Unique Water Bodies"	1579	1890	2412	2808	2711	2441	1400
9	Федеральный проект «Сохранение биологического разнообразия и развитие экологического туризма» Federal project "Conservation of Biological Diversity and Development of Ecological Tourism"	184,9	1442	1148	1126,7	1215,3	1105,2	0

10	Федеральный проект «Внедрение наилучших доступных технологий» Federal project "Implementation of Best Available Technologies"	10000	29000 0	30000 0	60649 5	60649 5	60598 2	1000 0
11	Федеральный проект «Сохранение лесов» Federal project "Forest Conservation"	27670	25013	27096	23886	22849	24696	5603
12	Федеральный проект «Комплексная система мониторинга качества окружающей среды» Federal project "Comprehensive Environmental Quality Monitoring System"	0	0	0	0	0	0	0
13	Итого по нац. проекту Total for the national project	211 123	560 563	51738 3	839 782	826 105	784 394	30 474
14	Доля финансового обеспечения «Зеленой экономики» в нацпроектах, % Share of financial support for the "Green Economy" in national projects, %	4,8	52,0	58,2	72,3	73,5	77,4	32,8

Представленные данные таблицы 1 свидетельствует о том, что величина расходов в сфере экологии колеблется в период 2019–2025 годов в пределах от 30,4 млрд. руб. до 826 млрд. руб. Удельный вес финансового обеспечения зеленой экономики колеблется от 4,8 % до 77,4 %. Наибольшую величину в структуре расходов национального проекта Экология занимают расходы «Внедрение наилучших доступных технологий». Распределение затрат осуществляется неравномерно, наибольшее финансирование приходится на периоды с 2022 по 2024 год, наименьшее финансирование в 2019 году и 2005 году. По федеральным проектам также финансовое обеспечение отличается неравномерностью и неритмичностью. Вместе с тем финансирование зеленой экономики нацелено прежде всего на развитие наилучших доступных технологий в сфере экологии, и практически не финансируются такие проекты, как: «Сохранение биологического разнообразия и развитие экологического туризма», «Сохранение уникальных водных объектов».

При анализе финансового обеспечения «Зеленой экономики» следует отметить, что некоторые федеральные проекты просто были свернуты, а суммы финансирования существенно скорректированы. Например, по проекту «Комплексная система мониторинга качества окружающей среды» финансирование полностью прекращено, это связано со следующими причинами: во-первых, большая часть работ предусмотрена за счет иностранных подрядчиков, закупка необходимого оборудования также осуществлялась за рубежом, в результате введения программ импортозамещения было принято решение об отказе реализации данного проекта. Во-вторых, часть проекта в минимальном объеме уже была реализована в 2014–2018 годах.

В основе государственного и частно-государственного финансирования зеленой экономики страны лежит проектный метод управления и программно-целевой метод бюджетных средств [14].

Проблемы финансирования зеленой экономики

К основным проблемам финансирования зеленой экономики в РФ следует отнести:

Во-первых, отсутствие эффективного и практического механизма частно-государственного партнерства в сфере зеленой экономики. Отсутствие единой информационной базы, позволяющей малому и

среднему бизнесу участвовать в финансировании инвестиционных проектов в сфере зеленой экономики. При этом участие физических лиц и индивидуальных предпринимателей в таких проектах вообще не предусмотрено, что делает данную сферу непривлекательной с точки зрения инвестиционных вложений [15].

Во-вторых, ориентация только на государственное финансирование зеленой экономики через федеральные проекты и программы. Такой подход, безусловно, имеет существенный недостаток в виде коррупционной составляющей и возможности нецелевого и неэффективного использования бюджетных средств через фирмы, аффилированные с государственными чиновниками и бюрократическим аппаратом.

В-третьих, отсутствие единого органа, осуществляющего контроль за эффективностью финансирования зеленой экономики. Согласно национальному проекту «Экология» выделяются как минимум три органа, участвующие как в реализации проекта, так и в контроле за их финансированием. В частности, это: Минприроды России, «Российский экологический оператор», Госкорпорация «Росатом». По факту проверками использования федеральных средств может заниматься Счетная палата и КРУ ведомств и Министерства финансов РФ. Такой подход в организации контроля может свести на минимум эффективность перехода к зеленой экономике страны [16].

В-четвертых, дефицит внебюджетных источников финансирования зеленой экономики. Данная проблема по сути вытекает из первых двух, то есть отсутствие эффективного венчурного механизма финансирования инвестиционных проектов со стороны бизнеса, а также граждан страны, которым безразлично состояние экологии государства.

В-пятых, структурная деформация экономики государства, ориентация прежде всего на невозобновляемые источники энергии. Отсутствие необходимости капитальных вложений в технологии производства возобновляемых источников энергии из-за дешевизны и низкой себестоимости добычи природных ресурсов и полезных ископаемых в стране делает переход к зеленой экономике чрезвычайно волатильным и долгим процессом [17].

В-шестых, необходимость создания эффективной системы мониторинга экологической

обстановки для возможности получения предприятиями, осуществляющих зеленые инвестиции, бонусов и преференций со стороны государства. Такая система является крайне дорогостоящей и длительной по времени создания. Однако в национальном проекте «Экология» на данную систему средств не запланировано вообще на период до 2025 года, что делает вопрос зеленых инвестиций злободневным и неопределенным.

В-седьмых, закрытость участия в экологических проектах России международного капитала. Из-за санкций большинство финансовых площадок и бирж закрыты для листинга экологических компаний из России, что опять существенно усложняет возможность финансирования многих проектов за счет частных инвестиций и делает переход значительно более длительным (переход к зеленой экономике, согласно концепции зеленого курса, должен быть осуществлен до 2050 года) [18].

В-восьмых, проблема низкой рентабельности зеленых инвестиций и значительного срока окупаемости. Большинство проектов в сфере экологии практически невыгодны частному бизнесу (за исключением экологического туризма), в связи с этим возникает проблема повышения доходности таких проектов [19].

Мероприятия, направленные на обеспечение эффективности финансирования зеленой экономики

Во-первых, введение обязательного страхования инвестиционных проектов в сфере зеленых инвестиций. Такой подход позволит сократить убытки от климатических и экологических рисков, а также позволит увеличить финансирование страхового рынка за счет данного типа инвестиционных проектов.

Во-вторых, продолжить развитие рынка зеленых финансовых инструментов. Необходимо расширить возможность эмиссии таких ценных бумаг, как "лесные" облигации, «синие» облигации, «белые» облигации.

В-третьих, важно продолжить политику стимулирования «зеленых» кредитов для хозяйствующих субъектов, осуществляющих инвестиции в зеленые технологии и зеленые проекты.

В-четвертых, следует обеспечить формирование венчурных площадок для финансирования стартапов в сфере экологии частными инвесторами и заинтересованными гражданами. Важным направлением является развитие зеленого краудфандинга.

В-пятых, в качестве косвенного инструмента стимулирования зеленых проектов возможно введение налоговых каникул для субъектов малого и среднего предпринимательства, реализующих зеленые проекты на крупные суммы.

В-шестых, на наш взгляд, важно ускорить процесс создания эффективной федеральной системы мониторинга качества окружающей среды. Подготовка такой системы позволит сформировать рынок зеленых финансовых инструментов в части лимитированных обязательств выбросов вредных веществ и углекислого газа. Такой подход позволит компаниям, превышающим выбросы вредных веществ, докупать соответствующие лимиты у компаний, отвечающим зеленым стандартам [20].

В-седьмых, для повышения эффективности финансирования экологических проектов поддержи-

ваем на законодательном уровне инициативу передачи жилищно-коммунального хозяйства страны в управление государственным органам власти и государственным компаниям.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время финансовое обеспечение зеленой экономики представлено прежде всего государственным финансированием, которое осуществляется путем обеспечения двух уровней государственных программ и проектов, среди которых:

1. Федеральные проекты в сфере экологии.
2. Приоритетные проекты в сфере экологии.

Величина расходов в сфере экологии в период 2019–2025 годов находится на уровне от 30,4 млрд. руб. до 826 млрд. руб. Удельный вес финансового обеспечения зеленой экономики колеблется в этот период от 4,8 % до 77,4 %. Наибольшую величину в структуре расходов на финансирование зеленой экономики составляют расходы на «Внедрение наилучших доступных зеленых технологий». Вторым важным механизмом финансового обеспечения зеленой экономики в нашей стране должно стать частно-государственное финансирование инвестиционных проектов в сфере экологии. Вместе с тем из-за низкой доходности и несложившейся системы стимулирования предприятий, осуществляющих крупные инвестиционные проекты в сфере экологии, данный механизм находится в зачаточном состоянии. В связи с этим существует ярко выраженная ориентация только на государственное финансирование зеленой экономики через федеральные проекты и программы. Третьим источником финансирования зеленой экономики в ближайшее время может стать развитие финансовых инструментов зеленой экономики, однако в настоящее время данный механизм финансового обеспечения также находится на этапе становления.

Основной проблемой финансового обеспечения зеленой экономики являются явные диспропорции в структуре экономики государства, ориентация прежде всего на невозобновляемые источники энергии и топливо в промышленном производстве. Отсутствие необходимости капитальных вложений в технологии производства возобновляемых источников энергии из-за дешевизны и низкой себестоимости добычи природных невозобновляемых ресурсов и полезных ископаемых в стране делает переход к зеленой экономике чрезвычайно несистемным и долгим процессом. Проблема низкой рентабельности зеленых инвестиций и значительного срока окупаемости сказывается на низких темпах развития рынка зеленых финансовых инструментов. Повышение эффективности финансирования зеленой экономики лежит в плоскости создания действенной федеральной системы мониторинга и контроля за качеством окружающей среды и использования средств государственных программ. Необходимости развития механизма частно-государственного партнерства в сфере зеленых финансов и формирования венчурных площадок для финансирования стартапов в сфере экологии, с участием частных инвесторов и заинтересованных граждан.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблема перехода к зеленой экономике прежде всего связана с процессом финансирования. Финансовое

обеспечение зеленой экономики должно включать систему нормативно-правового регулирования, обеспечивающую условия для развития частных инициатив в сфере реализации зеленого курса страны, а также грамотное планирование финансовых ресурсов в рамках реализации национального проекта «Экология». Объем запланированных государственных средств в рамках национального проекта «Экология» составляет более 820 млрд. руб., вместе с тем, по мнению специалистов, необходимый минимальный объем средств для реализации заявленного зеленого курса сопоставим с объемом годового бюджета России в пределах 300–350 млрд долл. США.

Таким образом, государство профинансирует только 20–25 % требуемых средств, остальное финансирование должно в перспективе осуществляться за счет частных инвестиций. Без развития рынка зеленых финансовых инструментов заявленные ориентиры зеленого курса страны будут недостижимы.

На законодательном уровне для реализации поставленных задач в рамках национального проекта «Экология» необходима реализация трех инициатив:

- национализация жилищно-коммунального хозяйства;
- создание национальных венчурных площадок для финансирования экологической деятельности в стране;
- установление четких нормативов распределения затрат и доходов в рамках концессионных соглашений частно-государственного партнерства в сфере экологии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гаджиев Н.Г., Алкльчев А.М., Коноваленко С.А. и др. Нейтрализация современных угроз в сфере обеспечения экономической безопасности России // Экономическая безопасность. 2022. Т. 5. N 2. С. 433–456. <https://doi.org/10.18334/ecsec.5.2.114812>
2. Гаджиев Н.Г., Коноваленко С.А., Трофимов М.Н. и др. Теоретические аспекты эффективности применения оценки экономического ущерба в сфере экологического аудита: проблемы и пути решения // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15. N 4(57). С. 137–144. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-4-137-144>
3. Закупень Т.В. Понятие и правовые основы «зеленой» (низкоуглеродной) экономики // Экологическое право. 2023. N 1. С. 8–11. <https://doi.org/10.18572/1812-3775-2023-1-8-11>
4. Попова А.В. Зеленый банкинг: вопросы теории и практики // Банковское право. 2022. N 3. С. 14–28. <https://doi.org/10.18572/1812-3945-2022-3-14-28>
5. Кологерманская Е.М. Правовой анализ корпоративного управления в компаниях электроэнергетического рынка, обеспечиваемого возобновляемыми источниками // Юридический мир. 2020. N 2. С. 53–56
6. Новикова Е.В. Зеленая экономика и зеленое право: мировые тенденции // Экологическое право. 2020. N 3. С. 13–19. <https://doi.org/10.18572/1812-3775-2020-3-13-19>
7. Новикова Е.В. Концептуальные основы правового регулирования «зеленой» экономики в России // Экологическое право. 2020. N 5. С. 3–10. <https://doi.org/10.18572/1812-3775-2020-5-3-10>
8. Лунева Е.В., Сафин З.Ф. Правовые вопросы перехода к «зеленой» экономике: от концепции к реальности // Экологическое право. 2022. N 6. С. 16–22. <https://doi.org/10.18572/1812-3775-2022-6-16-22>
9. Болтинова О.В. «Зеленое» финансирование и «зеленый» бюджет в Российской Федерации // Актуальные проблемы российского права. 2022. N 9. С. 34–41. <https://doi.org/10.17803/1994-1471.2022.142.9.034-041>
10. Гаджиев Н.Г., Коноваленко С.А., Трофимов М.Н., Гаджиев А.Н. Роль и значение экологической безопасности в системе обеспечения экономической безопасности государства // Юг России: экология, развитие. 2021. Т. 16. N 3(60). С. 200–214. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-3-200-214>
11. Ситник А.А. «Зеленые» финансы: понятие и система // Актуальные проблемы российского права. 2022. N 2. С. 63–80. <https://doi.org/10.17803/1994-1471.2022.135.2.063-080>
12. Симаева Е.П. Правовое обеспечение рынка «зеленых» облигаций // Безопасность бизнеса. 2020. N 1. С. 43–46.
13. Анисимов А.П. Концепция зеленой экономики (правовой аспект) // Юрист. 2022. N 12. С. 2–7. <https://doi.org/10.18572/1812-3929-2022-12-2-7>
14. Гаджиев Н.Г., Ахмедова Х.Г., Коноваленко С.А., Гаджиев М.Н. Организационно-методологические механизмы осуществления экологического аудита в Российской Федерации // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15. N 2. С. 6–16. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-2-6-16
15. Гаджиев Н.Г., Коноваленко С.А., Трофимов М.Н. и др. Современный зеленый курс России: проблемы и перспективы реализации // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17. N 3(64). С. 197–207. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-3-197-207>
16. Гаджиев Н.Г., Коноваленко С.А., Трофимов М.Н. и др. «Экологическая экономика» – важнейшая часть идеологии Global Commons в обеспечении устойчивого социально-экономического развития общества // Юг России: экология, развитие. 2019. Т. 14. N 4. С. 17–24. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-4-17-24>
17. Гаджиев Н.Г., Коноваленко С.А., Трофимов М.Н., Рабаданов Р.М. Методологические аспекты бухгалтерского учета расходов на экологическую безопасность и восстановление окружающей среды // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17. N 1. С. 162–173. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-1-162-173>
18. Гаджиев Н.Г., Коноваленко С.А., Ахмедова Х.Г. и др. Анализ и статистическая оценка современного состояния экологической преступности, пути повышения эффективности их выявления // Юг России: экология, развитие. 2023. Т. 18. N 1(66). С. 169–180. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-1-169-180>
19. Гаджиев Н.Г., Мурзак Н.А., Митенкова А.Е., Скрипкина О.В., Коноваленко С.А., Гаджиева У.А., Исмаилова О.С. Оценка перспектив устойчивого развития в условиях пандемии // Юг России: экология, развитие. 2021. Т. 16. N 1(58). С. 98–109. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-3-200-214>

20. Шапошников Г.Г. Правовое регулирование краудфандинга в Европейском союзе // Актуальные проблемы российского права. 2021. N 10. С. 12–19. <https://doi.org/10.17803/1994-1471.2021.131.10.012-019>

REFERENCES

- Gadzhiev N.G., Alklychev A.M., Konovalenko S.A., et al. Neutralization of modern threats in the sphere of ensuring economic security of Russia. *Economic security*, 2022, vol. 5, no. 2, pp. 433–456. (In Russian) <https://doi.org/10.18334/ecsec.5.2.114812>
- Gadzhiev N.G., Konovalenko S.A., Trofimov M.N., et al. Theoretical aspects of the effectiveness of assessing economic damage in the field of environmental audit: problems and solutions. *South of Russia: ecology, development*, 2020, vol. 15, no. 4(57), pp. 137–144. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-4-137-144>
- Zakupen' T.V. The concept and legal basis of the "green" (low-carbon) economy. *Environmental Law*, 2023, no. 1, pp. 8–11. (In Russian) <https://doi.org/10.18572/1812-3775-2023-1-8-11>
- Popova A.V. Green banking: issues of theory and practice. *Banking Law*, 2022, no. 3, pp. 14–28. (In Russian) <https://doi.org/10.18572/1812-3945-2022-3-14-28>
- Kologermanskaya E.M. Legal analysis of corporate governance in companies of the electricity market provided by renewable sources. *Yuridicheskii mir [Legal World]*. 2020, no. 2, pp. 53–56. (In Russian)
- Novikova E.V. Green economy and green law: global trends. *Environmental law*, 2020, no. 3, pp. 13–19. (In Russian) <https://doi.org/10.18572/1812-3775-2020-3-13-19>
- Novikova E.V. Conceptual foundations of legal regulation of the "green" economy in Russia. *Environmental Law*, 2020, no. 5, pp. 3–10. (In Russian) <https://doi.org/10.18572/1812-3775-2020-5-3-10>
- Luneva E.V., Safin Z.F. Legal issues of transition to a green economy: from concept to reality *Environmental Law*, 2022, no. 6, pp. 16–22. (In Russian) <https://doi.org/10.18572/1812-3775-2022-6-16-22>
- Boltinova O.V. "Green" financing and "green" budget in the Russian Federation. *Current problems of Russian law*, 2022, no. 9, pp. 34–41. (In Russian) <https://doi.org/10.17803/1994-1471.2022.142.9.034-041>
- Gadzhiev N.G., Konovalenko S.A., Trofimov M.N., Gadzhiev A.N. The role and importance of environmental safety in the system of ensuring the economic security of the state. *South of Russia: ecology, development*, 2021, vol. 16, no. 3(60), pp. 200–214. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-3-200-214>
- Sitnik A.A. "Green" finance: concept and system. *Current problems of Russian law*, 2022, no. 2, pp. 63–80. (In Russian) <https://doi.org/10.17803/1994-1471.2022.135.2.063-080>
- Simaeva E.P. Legal support of the "green" bond market. *Bezopasnost' biznesa [Business Security]*. 2020, no. 1, pp. 43–46. (In Russian)
- Anisimov A.P. The concept of green economy (legal aspect). *Lawyer*, 2022, no. 12, pp. 2–7. (In Russian) <https://doi.org/10.18572/1812-3929-2022-12-2-7>
- Gadzhiev N.G., Akhmedova Kh.G., Konovalenko S.A., Gadzhiev M.N. Organizational and methodological mechanisms for implementing environmental audits in the Russian Federation. *South of Russia: ecology, development*, 2020, vol. 15, no. 2, pp. 6–16. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-2-6-16>
- Gadzhiev N.G., Konovalenko S.A., Trofimov M.N., et al. Modern green course of Russia: problems and prospects for implementation. *South of Russia: ecology, development*, 2022, vol. 17, no. 3(64), pp. 197–207. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-3-197-207>
- Gadzhiev N.G., Konovalenko S.A., Trofimov M.N., etc. "Ecological economics" is the most important part of the Global Commons ideology in ensuring sustainable socio-economic development of society. *South of Russia: ecology, development*, 2019, vol. 14, no. 4, pp. 17–24. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-4-17-24>
- Gadzhiev N.G., Konovalenko S.A., Trofimov M.N., Rabadanov R.M. Methodological aspects of accounting of expenses for environmental safety and environmental restoration. *South of Russia: ecology, development*, 2022, vol. 17, no. 1, pp. 162–173. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-1-162-173>
- Gadzhiev N.G., Konovalenko S.A., Akhmedova Kh.G., etc. Analysis and statistical assessment of the current state of environmental crime, ways to increase the efficiency of their detection. *South of Russia: ecology, development*, 2023, vol. 18, no. 1(66), pp. 169–180. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-1-169-18>
- Gadzhiev N.G., Murzak N.A., Mitenkova A.E., Skripkina O.V., Konovalenko S.A., Gadzhieva U.A., Ismailova O.S. Assessing the prospects for sustainable development in a pandemic. *South of Russia: ecology, development*, 2021, vol. 16, no. 1(58), pp. 98–109. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-3-200-214>
- Shaposhnikov G.G. Legal regulation of crowdfunding in the European Union. *Current problems of Russian law*, 2021, no. 10, pp. 12–19. (In Russian) <https://doi.org/10.17803/1994-1471.2021.131.10.012-019>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Назирхан Г. Гаджиев проанализировал некоторые проблемы финансирования зеленой экономики, сделал выводы. Александр М. Пешаков проанализировал систему нормативно-правового регулирования финансового обеспечения зеленой экономики в России, рассмотрел действующие проблемы финансирования зеленой экономики, предложил

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Nazirkhan G. Gadzhiev analysed problems of financing the green economy and drew conclusions. Alexander M. Pleshakov analysed the system of legal regulation of financial support for the green economy in Russia, examined the current problems of financing the green economy and proposed measures aimed at ensuring the efficiency of financing the green economy. He carried out an analysis of

мероприятия, направленные на обеспечение эффективности финансирования зеленой экономики. Провел анализ финансового обеспечения зеленого курса страны, сформулировал основные положения введения, заключения и обобщил результаты исследования. Оба автора в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

the financial support of the country's green course, formulated the main provisions of the introduction, conclusion and summarised the results of the study. Both authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Назирхан Г. Гаджиев / Nazirkhan G. Gadzhiev <https://orcid.org/0000-0002-6321-3543>

Александр М. Плешаков / Alexander M. Pleshakov <https://orcid.org/0000-0003-4166-9280>

Оригинальная статья / Original article

УДК 338:574

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-15



Экономика замкнутого цикла в сфере обращения с отходами: порядок и результаты финансирования

Рашида И. Яббарова

Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Москва, Россия

Контактное лицо

Рашида И. Яббарова, аспирантка 3 курса
Российской академии народного хозяйства и
государственной службы при Президенте
Российской Федерации; 119571 Россия
г. Москва, проспект Вернадского, д. 82, стр. 1.
Тел. +79855330010
Email yabbarova.94@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0009-0005-4854-4079>

Формат цитирования

Яббарова Р.И. Экономика замкнутого цикла в
сфере обращения с отходами: порядок и
результаты финансирования // Юг России:
экология, развитие. 2024. Т.19, N 1. С. 145-150.
DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-15

Получена 22 ноября 2023 г.

Прошла рецензирование 13 января 2024 г.

Принята 15 января 2024 г.

Резюме

Цель: провести анализ порядка и основных результатов финансового обеспечения внедрения экономики замкнутого цикла в субъектах Российской Федерации.

Статистические данные, документы стратегического планирования. Использовался метод анализа нормативно-правовой базы и статистической отчетности, а также структуры федерального бюджета. Исследование также основывается на применении методов сравнения и сопоставления, группировки, исторического и факторного анализа.

Ключевая роль государства в создании и эффективном функционировании комплексной системы обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) определяется возможностью сконцентрировать необходимые финансовые ресурсы и гарантировать единые стандарты и требования к участникам системы для достижения заявленных целей экономики замкнутого цикла (ЭЗЦ). Это подтверждается результатами финансирования системы обращения с ТКО за 2019–2023гг., когда из федерального бюджета были профинансированы мероприятия на сумму 42,3 млрд. руб. На цели федерального проекта ЭЗЦ было выделено 8,6 млрд. руб. Важным является обеспечение внебюджетного финансирования данных мероприятий и модернизация отечественных предприятий, для которых использование вторичного сырья доступно и экономически целесообразно.

Приоритетом мероприятий по внедрению ЭЗЦ в РФ является финансовое обеспечение создания и развития инфраструктуры для сбора и переработки отходов. Процессы по совершенствованию нормативно-правовой базы и подготовке кадров связаны с необходимостью реализации подхода «сверху-вниз», что определяет централизацию принимаемых решений и эффективность привлечения внебюджетных средств, доминирующих в финансовом обеспечении функционирования системы обращения ТКО и внедрения ЭЗЦ.

Ключевые слова

Экономика замкнутого цикла, циркулярная экономика, финансирование, федеральные проекты, отходы, обращение с отходами.

Closed-loop economics in waste management: financing procedures and results

Rashida I. Yabbarova

Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation, Moscow, Russia

Principal contact

Rashida I. Yabbarova, 3rd year PhD student of the Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation; 119571 Russia, Moscow, 82 Vernadsky Avenue, building 1.

Tel. +79855330010

Email yabbarova.94@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0009-0005-4854-4079>

How to cite this article

Yabbarova R.I. Closed-loop economics in waste management: financing procedures and results.

South of Russia: ecology, development. 2024; 19(1):145-150. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-15

Received 22 November 2023

Revised 13 January 2024

Accepted 15 January 2024

Abstract

To analyze the procedure and main results of financial support for the implementation of a closed-cycle economy in the subjects of the Russian Federation.

Statistical data and strategic planning documents. The method of analysing the legal and regulatory framework and statistical reporting, as well as the structure of the federal budget, were used. The study is also based on the application of methods of comparison and contrast, grouping, historical and factor analysis.

The key role of the state in the creation and effective functioning of the integrated system of solid municipal waste management (MSWM) is determined by the ability to concentrate the necessary financial resources and guarantee uniform standards and requirements for system participants to achieve the stated goals of the closed cycle economy (CCE). Uniform standards and requirements for system participants must be guaranteed to achieve the stated objectives of the closed cycle economy (CCE). This is confirmed by the results of the financing of the TCO management system for 2019–2023, when the federal budget financed activities to the amount of 42.3 billion rubles. For the purposes of the federal EZC project, 8.6 billion rubles were allocated. It is important to ensure off-budget financing of these activities and modernization of domestic enterprises, for which the use of secondary raw materials is available and economically feasible.

The priority of measures to implement CCE in the Russian Federation is financial support for the creation and development of infrastructure for waste collection and recycling. The processes on improvement of the regulatory and legal framework and personnel training are related to the need to implement a "top-down" approach, which determines the centralisation of decision-making and the efficiency of attracting extra-budgetary funds dominating in the financial support of the functioning of the TCO management system and implementation of CCE.

Key Words

Closed-loop economy, circular economy, financing, federal projects, waste, waste management.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно статье 42 Конституции Российской Федерации каждый имеет право на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о ее состоянии и на возмещение ущерба, причиненного его здоровью или имуществу экологическим правонарушением [1]. Соблюдение данного права является одним из ключевых принципов российской государственной политики в сфере природопользования.

В современном мире благополучие окружающей среды во многом зависит от экологически ориентированного экономического роста, включающего в себя уменьшение загрязнения окружающей среды, развитие экологически чистых технологий и инноваций, а также улучшение управления отходами, их переработка и повторное включение в производственный процесс.

Развитие экономики страны в современных реалиях, когда на экономику страны оказывается колоссальное санкционное давление, требует помимо рационального размещения производительных сил, так и продление жизненного цикла используемых ресурсов. Важно создать условия для форсированного перехода на экономику замкнутого цикла (циркулярную экономику), которая, в свою очередь, позволит повысить эффективность использования ресурсов, снизить социальное неравенство, стимулировать инновационное развитие производства, а также справиться с накопившимися экологическими проблемами.

Модель экономики замкнутого цикла ориентирована на переход к более устойчивому потреблению и производству, где ресурсы максимально эффективно используются, а отходы минимизируются. Данная модель стремится к замкнутому циклу производства и потребления, где материалы и ресурсы не выбрасываются после использования, а регенерируются или перерабатываются для повторного использования.

В рамках экономики замкнутого цикла предполагается переход к производству продуктов, компонентов с более долгосрочным периодом использования, минимизация отходов их переработка и повторное использование в процессе производства. Что особенно актуально для сферы обращения с отходами, в связи с ежегодным ростом количества образованных отходов.

Целью настоящего исследования – анализ порядка и основных результатов финансового обеспечения внедрения экономики замкнутого цикла в субъектах Российской Федерации.

МАТЕРИАЛ И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Во время подготовки настоящей статьи были использованы федеральные законы о федеральном бюджете и о его исполнении в 2019–2022 годах, указ Президента Российской Федерации о национальных целях, материалы Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, паспорта федеральных проектов, входящих в состав национального проекта «Экология», научные статьи авторов, исследовавших данную тематику.

В качестве основных методов исследования использован анализ документов стратегического планирования, нормативно-правовой базы и статисти-

ческой отчетности в сфере природопользования, а также структуры федерального бюджета. Исследование также основывается на применении методов сравнения и сопоставления, группировки, исторического и факторного анализа.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

За анализируемый период (2012–2022 гг.) объем образования отходов производства и потребления в Российской Федерации увеличился в 1,7 раз – с 5008 млн тонн в 2012 году до 8448,6 млн тонн в 2022 году. По данным Федеральной службы по надзору в сфере природопользования в Российской Федерации за 2022 год отходов образовано на 1 492,9 млн больше чем годом ранее. Из которых обработано 23,46 млн тонн (0,3 %), утилизировано 3 920,1 млн тонн (46,1 %), обезврежено 17,13 млн тонн или 0,2 % от образованных (3 510,8 млн тонн размещено на хранении, 981,4 млн тонн захоронено) [2].

Стремительный и интенсивный рост объема образовавшихся отходов усиливает необходимость внедрения модели экономики замкнутого цикла и применения эффективных методов управления и обработки отходов, как на уровне экономики страны, так и в каждом её регионе.

Со стороны государства уделяется особое внимание проблеме роста отходов и необходимости формирования отрасли обращения с отходами, позволяющей использовать отходы в качестве вторичного сырья, повторно вводя его в производственный процесс. Государством создается необходимая нормативно-правовая база для осуществления комплексного перехода отрасли обращения с отходами к принципам экономики замкнутого цикла.

В настоящее время пакет нормативно-правовых документов, регулирующих сферу обращения с отходами, включает в себя множество документов, количество и состав которых постоянно корректируются, что связано с необходимостью приведения в соответствие их содержания и ситуации в данной сфере [3].

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации № 474 от 21 июля 2020 года «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» предполагается создание в России к 2030 году устойчивой системы обращения с ТКО, выход на сортировку 100 % отходов, а также двукратное сокращение количества отходов, направляемых на полигоны (далее – национальные цели) [4].

Для решения проблемы с отходами, возможностью их обработки и повторного введения в оборот, трудоемким и затратным, с точки зрения финансового обеспечения, является создание соответствующей системы обращения с отходами.

С 2019 года реализуется федеральный проект «Комплексная система обращения с твердыми коммунальными отходами» (далее – федеральный проект ТКО), основной целью реализации которого является сокращение количества захоронений твердых коммунальных отходов (далее – ТКО), в том числе прошедших обработку (сортировку) и формирование комплексной системы обращения с ТКО.

Вторым важным этапом для полноценного функционирования экономики замкнутого цикла является увеличение жизненного цикла продукции,

повторное использование ресурсов и минимизация отходов в процессе производства.

Для обеспечения данного условия, в 2022 году в России начал реализацию федеральный проект «Экономика замкнутого цикла» (далее – федеральный проект ЭЗЦ), основной целью которого является повторное использование 40 % вторичных ресурсов в строительстве, 50 % — в сельском хозяйстве, 34 % — в промышленности.

Достижение национальных целей и выполнение результатов указанных федеральных проектов во многом зависит от финансового обеспечения запланированных мероприятий.

Порядок финансового обеспечения федеральных проектов (и всего национального проекта «Экология») подразумевает финансирование мероприятий за счет:

- средств федерального бюджета (в том числе средства, полученные от экологического сбора);

- средств региональных бюджетов (основной источник финансирования – платежи населения, плата за негативное воздействие на окружающую среду);

- внебюджетных источников (привлечение средств инвесторов, что требует разработки соответствующей системы мотивации и мер поддержки).

Расходы на финансирование федеральных проектов в составе расходов федерального бюджета представлены в большей мере межбюджетными трансфертами бюджетам субъектов Российской Федерации и государственным внебюджетным фондам [5]. Федеральный бюджет является важным, но не единственным источником финансирования федеральных проектов. Как следует из таблицы 1 федеральные проекты ТКО и ЭЗЦ финансируются преимущественно за счет внебюджетных источников.

Таблица 1. Источники финансирования федерального проекта ТКО (согласно утвержденному паспорту)
Table 1. Sources of financing for the federal MSW project (according to the approved project documentation)

Период Period	Федеральный бюджет The Federal budget		Консолидированные бюджеты субъектов РФ Consolidated budgets of the subjects of the Russian Federation		Внебюджетные источники Extra-budgetary sources		Итого Total
	тыс. руб. thousand rubles	в % к итогу as a % of the total	тыс. руб. thousand rubles	в % к итогу as a % of the total	тыс. руб. thousand rubles	в % к итогу as a % of the total	
	2019	624509,28	2,3%	0	0	26907978,86	
2020	11331439,50	11,4%	1817730,32	1,8%	86363484,21	86,8%	99512654,03
2021	11203725,10	12,6%	0	0	77725240,65	87,4%	88928965,75
2022	15717684,80	22,3%	0	0	54787451,15	77,7%	70505135,95
2023	26070932,40	33,9%	0	0	50865781,2	66,1%	76936713,6
2024	27597135,30	37,2%	0	0	46667000	62,8%	74264135,3
Итого Total	92545426,48	14,8%	1817730,32	0,4%	343316936,1	78,4%	437680092,8

Согласно паспорту федерального проекта ТКО на создание комплексной системы обращения с ТКО в 2019–2024 годах планировалось направить 437,7 млрд рублей, из которых 92,5 млрд рублей за счет средств федерального бюджета, за счет региональных бюджетов 1,8 млрд рублей и основную часть средств в размере 343,3 млрд рублей планировалось покрыть за счет внебюджетных источников, в том числе с привлечением инвестиций.

Государством на реализацию целей по созданию комплексной системы обращения с ТКО за период с 2019 по 2023 г. фактически было выделено 42,3 млрд рублей из федерального бюджета (меньше на 22,6 млрд рублей чем прогнозировалось паспортом федерального проекта). Данные, содержащиеся в федеральных законах об исполнении федерального бюджета в 2019–2022 годах [6–9] и федерального закона о бюджете на 2023 год [10], отражают следующее распределение финансирования указанной цели:

- на создание электронной федеральной схемы обращения с ТКО, позволяющей учитывать источники образования отходов и нахождение мест образования

отходов, из федерального бюджета в 2019–2020 годах было выделено 95 млн рублей;

- с 2019 по 2022 годы на обеспечение функционирования компании отвечающей за формирование комплексной системы обращения с ТКО, из федерального бюджета выделено 6 млрд рублей;

- в 2020 году субъектам Российской Федерации было выделено 8,7 млрд рублей на обеспечение деятельности по оказанию коммунальной услуги населению по обращению с ТКО;

- на финансирование инвестиционных проектов, направленных на создание объектов по обработке (сортировке), утилизации и размещению ТКО в 2021–2023 годах из федерального бюджета выделено 20,4 млрд рублей;

- в 2021–2022 годах государством была оказана поддержка регионам в объеме 2,4 млрд рублей на закупку контейнеров для раздельного накопления ТКО;

- 4,7 млрд рублей в 2022 году было выделено субъектам Российской Федерации с целью сокращения количества ТКО, направляемых на захоронение.

За время реализации федерального проекта по созданию комплексной системы обращения с ТКО в России было введено 187 объектов обращения с

отходами, на 25-ти из которых осуществляется и утилизация, и сортировка отходов. По информации Российского экологического оператора ожидается наращивание объемов обработки отходов на 3,62 млн тонн, а утилизации – на 0,76 миллион тонн в год [11].

В рамках федерального проекта ЭЗЦ предполагается создание к концу 2024 года восьми экотехнопарков – предприятий по обращению с отходами полного цикла, которые позволят осуществлять весь необходимый комплекс работ с отходами, а именно: сбор, сортировку, утилизацию полезных фракций отходов и отправлять на захоронение остаточную массу. Предприятия данного типа появятся в Краснодарском крае, Приморском крае, Ставропольском крае, а также Московской, Новосибирской, Ленинградской, Нижегородской и Челябинской областях.

Создание соответствующей инфраструктуры обращения с вторичными ресурсами и вторичным сырьем требует финансовых вложений, как со стороны государства, так и со стороны бизнеса. В рамках федерального бюджета на эти цели заложено выделение субъектам Российской Федерации, на территории которых создаются экотехнопарки, 10 млрд рублей в 2022–2024 гг. (2022 г. – 5,5 млрд рублей, 2023 г. – 3,1 млрд рублей, 2024 г. – 1,4 млрд рублей). Ещё 600 млн рублей в 2022–2024 гг. планируется направить на информационно-просветительскую деятельность в целях популяризации принципов экономики замкнутого цикла среди населения.

Помимо государственного финансирования, паспорт федерального проекта ЭЗЦ предусматривает также финансирование за счет внебюджетных источников. В 2024 году прогнозируется выделение 20,2 млрд рублей на создание инфраструктуры по обращению со вторичными ресурсами и вторичным сырьем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опираясь на совершенствование нормативно-правовой базы и документов стратегического планирования, стоит отметить, что в последние годы в России осуществляются структурные преобразования для формирования условий по переходу к циркулярной экономике, которая во многом сфокусирована на создании необходимых условий для решения проблемы обращения с отходами.

Исследуя порядок и результаты финансового обеспечения реализации мероприятий, направленных на формирование условий для перехода на экономику замкнутого цикла стоит отметить, что, начиная с 2019 года, государством уделяется особое внимание развитию инфраструктуры для сбора и переработки отходов.

Процесс перехода к экономике замкнутого цикла требует значительных финансовых затрат как со стороны государства, так и со стороны бизнеса. Именно поэтому важно повышать инвестиционную привлекательность данной сферы для бизнеса, а также совершенствовать систему преференций.

Перед российской экономикой и сферой обращения с отходами поставлены серьезные вызовы и для того чтобы с ними справиться государству необходимо стимулировать увеличение финансового обеспечения перехода на экономику замкнутого цикла путем: предоставления налоговых льгот и субсидий

предприятиям, которые переводят свои производства на экономику замкнутого цикла; продажи квот на выбросы парниковых газов, полученные от переработки отходов, что может принести дополнительные доходы; привлечения частных инвестиций путем предоставления гарантий возврата инвестиций и создания благоприятных условий для бизнеса; развития рынка вторичных ресурсов путем стимулирования использования вторсырья в производстве товаров и услуг.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Конституция Российской Федерации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202007040001> (дата обращения: 15.10.2023)
2. Доклад о деятельности Федеральной службы по надзору в сфере природопользования в 2022. URL: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/rpn-activity-reports/> (дата обращения: 22.10.2023)
3. Елкина Л.Г., Россинская Г.М., Лейберт Т.Б. Формирование экономики замкнутого цикла как инновационный путь устойчивого развития российских регионов // Экономика строительства. 2023. N 8. С. 20–25.
4. Указ Президента Российской Федерации N 474 от 21 июля 2020 «О национальных целях развития России на период до 2030 года». URL: <http://government.ru/docs/all/128943/> (дата обращения: 01.11.2023)
5. Седова М.Л. Финансирование национальных проектов // Тема дня. 2020. N 3. С. 17–27.
6. Федеральный закон «Об исполнении федерального бюджета за 2019 год» от 15.10.2020 N 314–ФЗ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_365177/?ysclid=lp4b9921x0497577213 (дата обращения: 07.11.2023)
7. Федеральный закон «Об исполнении федерального бюджета за 2020 год» от 25.10.2021 N 361–ФЗ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_399169/?ysclid=lp4bdkwloi583908128 (дата обращения: 09.11.2023)
8. Федеральный закон «Об исполнении федерального бюджета за 2021 год» от 14.07.2022 N 249–ФЗ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_421975/?ysclid=lp4bfr0n6a503036976 (дата обращения: 09.11.2023)
9. Федеральный закон «Об исполнении федерального бюджета за 2022 год» от 24.07.2023 N 329–ФЗ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_452847/?ysclid=lp4bhoybqm921552551 (дата обращения: 10.11.2023)
10. Федеральный закон «О федеральном бюджете на 2023 год и на плановый период 2024 и 2025 годов» от 05.12.2022 N 466–ФЗ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_433298/?ysclid=lp4biu7tgo564758295 (дата обращения: 10.11.2023)
11. Введенные с 2019 года предприятия позволяют обработать 19,4 млн тонн отходов к концу года // Официальный сайт информационного агентства ТАСС. URL: <https://tass.ru/ekonomika/16324897> (дата обращения: 07.11.2023)

REFERENCES

1. *Konstitutsiya Rossiiskoi Federatsii* [Constitution of the Russian Federation]. Available at:

<http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202007040001> (accessed 15.10.2023)

2. *Doklad o deyatel'nosti Federal'noi sluzhby po nadzoru v sfere prirodopol'zovaniya v 2022* [Report on the activities of the Federal Service for Supervision of Environmental Management in 2022]. Available at: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/rpn-activity-reports/> (accessed 22.10.2023)

3. Elkina L.G., Rossinskaya G.M., Leibert T.B. Formation of a closed-cycle economy as an innovative way of sustainable development of Russian regions. *Ekonomika stroitel'stva* [The economics of construction]. 2023, no. 8, pp. 20–25. (In Russian)

4. *Ukaz Prezidenta Rossiiskoi Federatsii N 474 ot 21 iyulya 2020 «O natsional'nykh tselyakh razvitiya Rossii na period do 2030 goda»* [Decree of the President of the Russian Federation no. 474 of July 21 2020 "On the national development goals of Russia for the period up to 2030"]. Available at: <http://government.ru/docs/all/128943/> (accessed 01.11.2023)

5. Sedova M.L. Financing of national projects. *Tema dnya* [Topic of the day]. 2020, no. 3, pp. 17–27. (In Russian)

6. *Federal'nyi zakon «Ob ispolnenii federal'nogo byudzheta za 2019 god» ot 15.10.2020 N 314–FZ* [Federal Law "On the execution of the Federal Budget for 2019" dated 10/15/2020 no. 314–FZ]. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_365177/?ysclid=lp4b9921x0497577213 (accessed 07.11.2023)

7. *Federal'nyi zakon «Ob ispolnenii federal'nogo byudzheta za 2020 god» ot 25.10.2021 N 361–FZ* [Federal Law "On the

execution of the Federal budget for 2020" dated 10/25/2021 no. 361–FZ]. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_399169/?ysclid=lp4bdkwloi583908128 (accessed 09.11.2023)

8. *Federal'nyi zakon «Ob ispolnenii federal'nogo byudzheta za 2021 god» ot 14.07.2022 N 249–FZ* [Federal Law "On the execution of the Federal Budget for 2021" dated 07/14/2022 no. 249–FZ]. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_421975/?ysclid=lp4bfr0n6a503036976 (accessed 09.11.2023)

9. *Federal'nyi zakon «Ob ispolnenii federal'nogo byudzheta za 2022 god» ot 24.07.2023 N 329–FZ* [Federal Law "On the execution of the Federal Budget for 2022" dated 07/24/2023 no. 329–FZ]. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_452847/?ysclid=lp4bhoy6qm921552551 (accessed 10.11.2023)

10. *Federal'nyi zakon «O federal'nom byudzhete na 2023 god i na planovyi period 2024 i 2025 godov» ot 05.12.2022 N 466–FZ* [Federal Law "On the Federal Budget for 2023 and for the planning period of 2024 and 2025" dated 05.12.2022 no. 466–FZ]. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_433298/?ysclid=lp4biu7tgo564758295 (accessed 10.11.2023)

11. *Vvedennyye s 2019 goda predpriyatiya pozvolyat obrabotat' 19,4 mln tonn otkhodov k kontsu goda* [The enterprises introduced in 2019 will allow processing 19.4 million tons of waste by the end of the year]. Official website of the TASS news agency. (In Russian) Available at: <https://tass.ru/ekonomika/16324897> (accessed 07.11.2023)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Рашида И. Яббарова осуществляла сбор информации, проводила анализ, написала рукопись и несет ответственность при обнаружении плагиата и самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Rashida I. Yabbarova collected information, conducted analysis, wrote the manuscript and is responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The author declare no conflict of interest.

ORCID

Рашида И. Яббарова / Rashida I. Yabbarova <https://orcid.org/0009-0005-4854-4079>

Оригинальная статья / Original article

УДК 38.48

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-16



Модернизация организационной структуры Северо-Кавказского туристического кластера

Тамерлан А. Хубаев, Оксана Р. Тегетаева

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Владикавказский филиал), Владикавказ, Россия

Контактное лицо

Оксана Р. Тегетаева, кандидат экономических наук, доцент, кафедра «Экономика и финансы», ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации» (Владикавказский филиал); 362021 Россия, г. Владикавказ, ул. Молодежная, 7.
Тел. +79094743109
Email ORTegetaeva@fa.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2282-5041>

Формат цитирования

Хубаев Т.А., Тегетаева О.Р. Модернизация организационной структуры Северо-Кавказского туристического кластера // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 1. С. 151-161. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-16

Получена 25 января 2023 г.

Прошла рецензирование 14 июня 2023 г.

Принята 15 сентября 2023 г.

Резюме

Цель – разработать модернизированную модель архитектуры туристического кластера Северо-Кавказского федерального округа в современных экономических реалиях с учетом многогранного туристического потенциала территории, включающего возможности развития горнолыжного туризма, а также санаторно-курортного отдыха с сочетанием деловых визитов, культурно-исторических экскурсий, организацией спортивных, event-мероприятий и прочих нишевых видов туризма.

Исследование проведено методом моделирования на основе анализа данных о природных, исторических, социокультурных особенностях Северного Кавказа, а также на основе оценки социально-экономических показателей индустрии туризма за последние пять лет. В результате исследования выявлено, что для эффективного развития и продвижения туристического кластера Северо-Кавказского федерального округа, следует расширить спектр оказываемых услуг от однородного горнолыжного туризма до мультинаправленного, комбинирующего синергетический эффект от углубления технологических связей и кооперации резидентов туристического кластера.

Внедрение матричной модели туристического кластера Северного Кавказа в управление деятельностью и маркетинговым продвижением индустрии туризма в южном регионе России, позволит превратить Северный Кавказ одним из ярких центров туристической аттракции, которая станет достойным конкурентов мировых туристических курортов.

Ключевые слова

Туризм, туристический кластер, Северный Кавказ, СКФО.

Modernization of the organizational structure of the North Caucasus tourism cluster

Tamerlan A. Hubaev and Oksana R. Tegetaeva

Financial University under the Government of the Russian Federation, Vladikavkaz Branch, Vladikavkaz, Russia

Principal contact

Oksana R. Tegetaeva, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Department of Economics and Finance, Financial University under the Government of the Russian Federation, Vladikavkaz Branch; 7 Molodezhnaya St, Vladikavkaz, Russia 362021.

Tel. +79094743109

Email ORTegetaeva@fa.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2282-5041>

How to cite this article

Hubaev T.A., Tegetaeva O.R. Modernization of the organizational structure of the North Caucasus tourism cluster. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(1):151-161. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-16

Received 25 January 2023

Revised 14 June 2023

Accepted 15 September 2023

Abstract

To develop a modernized model of the architecture of the tourist cluster of the North Caucasus Federal District in modern economic realities, taking into account the multifaceted tourism potential of the territory, including opportunities for the development of skiing tourism, as well as sanatorium-resort recreation with a combination of business visits, cultural and historical excursions, organisation of sports, events and other niche types of tourism.

The study was carried out by modeling based on the analysis of data on the natural, historical, socio-cultural features of the North Caucasus, as well as on the assessment of socio-economic indicators of the tourism industry over the past five years.

The study indicates that for the effective development and promotion of the tourist cluster of the North Caucasus Federal District, it is necessary to expand the range of services provided from homogeneous skiing tourism to multidirectional initiatives, combining the synergetic effect of deepening technological ties and cooperation of residents of the tourist cluster regions.

The introduction of a matrix model of a tourism cluster of the North Caucasus in the management of the activities and marketing promotion of the tourism industry in the southern region of Russia would make the North Caucasus an outstanding centre of tourist attraction, a worthy competitor of world tourist resorts.

Key Words

Tourism, tourist cluster, North Caucasus, North Caucasus Federal District.

ВВЕДЕНИЕ

Практика последнего десятилетия показала, что туризм является одним из наиболее динамично развивающихся направлений международной торговли услугами. По данным Всемирной туристской организации порядка 30 процентов мирового экспорта услуг приходится на долю туризма, при этом доходы от данной отрасли составляют 10 процентов мирового ВВП. Активно включилась в данный процесс и Российская Федерация: разработана нормативно-правовая база для развития индустрии туризма, созданы особые экономические зоны туристско-рекреационного типа (далее ОЭЗ ТРТ), а также система институтов, регулирующих данную сферу [1].

На сегодняшний день в России существует 10 ОЭЗ ТРТ: ОЭЗ ТРТ «Байкальская гавань», ОЭЗ ТРТ «Бирюзовая Катунь», ОЭЗ ТРТ «Завидово», ОЭЗ ТРТ «Ворота Байкала», ОЭЗ ТРТ «Архыз», ОЭЗ ТРТ «Ведучи», ОЭЗ ТРТ «Эльбрус», ОЭЗ ТРТ «Матлас» ОЭЗ ТРТ «Армхи и Цори», ОЭЗ ТРТ «Мамисон» [2]. Таким образом, шесть из десяти особых зон расположены на юге России в Северо-Кавказском федеральном округе, что предопределяет акцент на развитие зон Северного Кавказа. Правовым базисом для решения задачи являются Стратегия развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 года, Стратегии развития туризма на территории Северо-Кавказского федерального округа до 2035 года и Постановление Правительства Российской Федерации от 14 октября 2010 г. N 833 «О создании туристического кластера в Северо-Кавказском федеральном округе».

Однако, несмотря на более чем десятилетнее существование туристического кластера в регионе, эффективно организованного системного развития территория не получила. Функционируют отдельные курорты, которые не используют кластерный подход в планировании деятельности, упуская синергетический эффект в экономической и маркетинговой стратегиях развития туризма. Сложная система государственных органов, регулирующих сферу туризма на юге России, претерпевающая постоянные метаморфозы, оказалась не способной объединить в кластер шесть Северо-Кавказских ОЭЗ ТРТ. Помимо указанной проблемы, следует отметить, что туристическо-рекреационный потенциал туристического кластера Северного Кавказа является неполным без учета бальнеологической составляющей, которая законодательно не вошла в состав вышеупомянутого кластера, однако находится в рамках его географических границ [3]. Указанные факторы не способствуют достижению стратегической цели по созданию зрелого туристско-рекреационного кластера на юге России.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе разработки научно-методических и практических рекомендаций по совершенствованию маркетингового управления продвижением курортных территорий Северо-Кавказского туристического кластера на принципах устойчивого развития авторами были изучены данные о разведанных природных туристско-рекреационных ресурсах, материалы о историко-культурном многообразии регионов, неординарности их демографического и этнографического развития, изучены статистические данные экономических показателей субъектов предоставляющих туристи-

ческие услуги, данные социологического опроса о туристской привлекательности территорий юга России [4].

В процессе исследования были использованы методы анализа, синтеза, обобщения, статистических расчетов и графического анализа данных, картографические, экспертно-аналитические, экономико-математические и социологические методы исследования.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Северный Кавказ – уникальный регион, привлекательный различными точками притяжения. Среди них актуальный сегодня является туристическая привлекательность региона, обусловленная наличием живописного горного геологического ландшафта с переходом в прибрежный и морской. Это сочетание позволяет на относительно компактной территории развить различные виды индустрии туризма – от горнолыжного до морских круизов. Дополняют эту палитру и богатая история народов, населяющих этот регион, которые могут поведать о своей культуре, традициях и обычаях, столь разнообразных, что вызывают интерес в качестве объектов этнотуризма, религиозного туризма, набирающего популярность, познавательного туризма [5]. Эти аргументы доказывают, что Северный Кавказ – это место для развития крупного туристического кластера со взаимосвязанной и взаимоувязанной инфраструктурой, которая также станет финансово привлекательной для инвестиционных вложений, а также для государственных властей с целью диверсификации источников бюджетных доходов.

Проведенный анализ нормативно-правовой документации в сфере регулирования отношений по созданию и развитию туристического кластера в СКФО, исследование территориальной организации существующей на сегодняшний день туристской инфраструктуры [6; 7], социологической опрос потребителей туристических услуг [8] позволил идентифицировать туристский и рекреационный потенциал Северо-Кавказского туристического кластера, который использован незначительно, без использования кластерного подхода. Для построения эффективной кластерной модели следует уточнить само понятие кластера: «туристско-рекреационный кластер (ТРК) – это интеграционное образование, представляющее собой совокупность расположенных в географической близости взаимодействующих компаний, институтов, коллективных средств размещения, сопутствующих и инфраструктурных сервисов, ориентированных на производство инновационного продукта (услуги) туристской, рекреационной и культурной направленности, и проходящим в своем развитии определенные этапы в логике жизненного цикла» [9]. Схематично строение кластера представлено на рисунке 1.

Единый туристический кластер Северного Кавказа сегодня – это незрелый симбиоз объектов туристической инфраструктуры от санаторно-курортных до горнолыжных баз. Эта черта является наиболее сложной частью становления эффективно функционирующего масштабного объекта индустрии туризма. Координатору деятельности особых экономических зон туристского типа на Северном Кавказе в лице АО «Кавказ. РФ», следует в авангарде построения

маркетинговой стратегии поставить эффект от синергии посредством взаимопереплетения интересов различных объектов туристической индустрии в целостный организм туристского макрокластера «Северный Кавказ». Подобным образом выстроенная

матрица по предоставлению туристских услуг обернется как финансовой выгодой для государства, так и для крупных инвесторов, а также для представителей малого бизнеса, предоставляющего соответствующие дополнительные услуги.

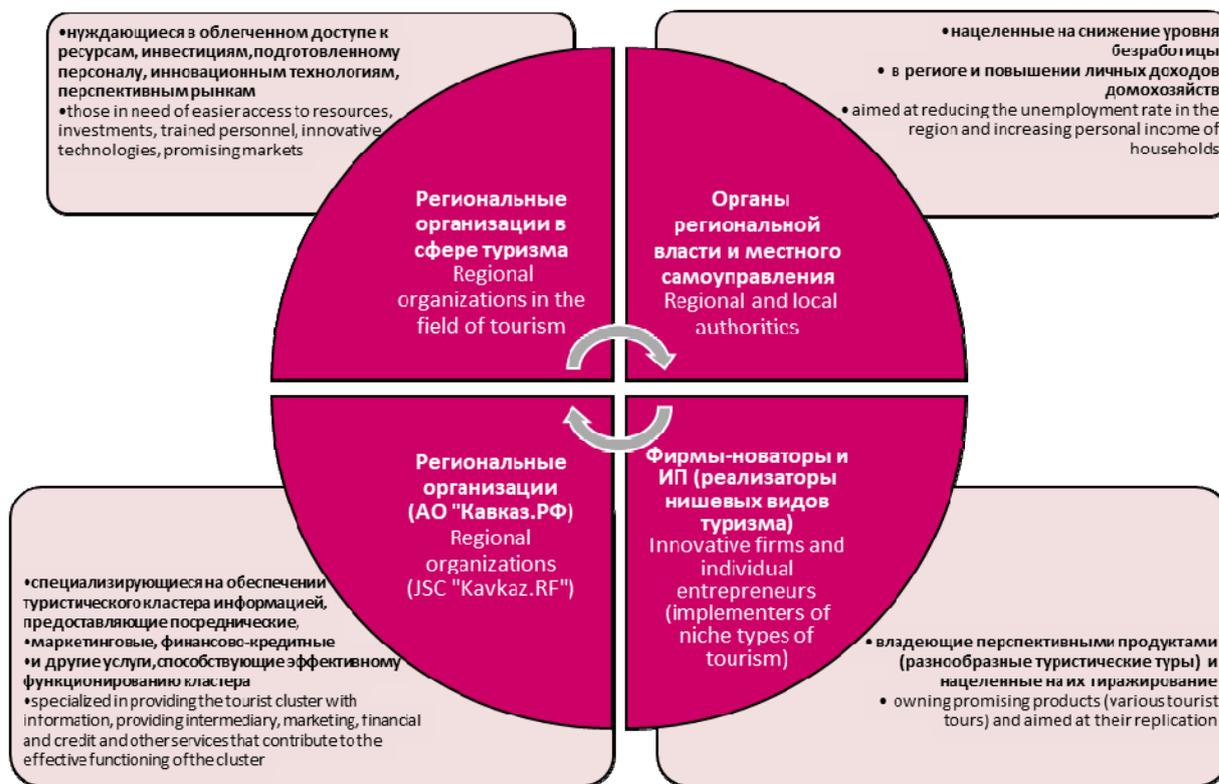


Рисунок 1. Структурное построение туристского кластера Северного Кавказа

Figure 1. The structure of the tourist cluster of the North Caucasus

Изучив этапы эволюции туристских кластеров в мировой практике, авторам видится, что туристический кластер Северного Кавказа находится на первой стадии развития, делая нерешительные шаги ко второй стадии (рис. 2), [10]. Единым ядром, акселератором роста должна стать управляющая компания АО «Кавказ.РФ», ведя скоординированную, направленную на результат маркетинговую кампанию, осуществляя информационную поддержку.

Согласно Стратегии развития туризма на территории Северо-Кавказского федерального округа до 2035 года основная цель развития туристического кластера звучит следующим образом: «...комплексное развитие туризма в Северо-Кавказском федеральном округе, выявление приоритетных направлений развития туризма, решение задач по каждому направлению развития туризма...». Проведенное наблюдение показало, что на Северном Кавказе реализуется лишь одно направление – горнолыжный туризм, в то время как данный регион имеет предпосылки для развития широкого диапазона услуг индустрии туризма.

Компаративный анализ нормативных документов в сфере развития туризма в России и в СКФО позволяет заключить, что из 12 видов, описанных в Стратегии развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 г. лишь 9 видов учтены в Стратегии развития туризма на территории Северо-Кавказского федерального округа до 2035 года. Систематизи-

рованный по родовым признакам перечень видов туризма представлен в таблице 1.

Представленная декомпозиция услуг туристической индустрии позволяет выработать типовые решения для маркетингового продвижения туристических продуктов, повышения финансовой результативности и удовлетворенности потребителей подобных услуг. Эффект синергии однотипных туристических локаций с аналогичными туристическими продуктами повысится при использовании имеющегося опыта каждого региона в сочетании с новаторскими идеями, созданными центром координации туристического кластера [10]. Из вышесказанного следует, что управление туристическим кластером следует реализовывать в разрезе базовых видов туристических услуг кластера по базовым видам туристических услуг (рис. 3).

Функционирующие на сегодняшний день особые экономические зоны туристско-рекреационного типа (ОЭЗ ТРТ «Архыз», ОЭЗ ТРТ «Ведучи», ОЭЗ ТРТ «Эльбрус», ОЭЗ ТРТ «Матлас», ОЭЗ ТРТ «Армхи и Цори», ОЭЗ ТРТ «Мамисон») предоставляют собой горнолыжные курорты и, таким образом, согласно альтернативной структуре туристского кластера СКФО, представленной авторами, относятся к сектору активного туризма.

Относительно новым для Северного Кавказа является круизный туризм. Точкой отсчета следует считать Распоряжение Правительства РФ от 28.01.2022

№ 117-р «Об утверждении Концепции развития круизного туризма в Российской Федерации на период до 2024 года», в котором впервые упомянут Каспийский прибрежный кластер как ОЭЗ ТРТ. Каспийский прибрежный кластер расположен на территории муниципальных образований «Дербентский район»,

«Карабудахкентский район», «Каякентский район» и «Магарамкентский район» Республики Дагестан (Северный Кавказ), однако юридически в туристический кластер СКФО не вошел, что, на взгляд авторов, является стратегически неверным.



Рисунок 2. Этапы жизненного цикла кластеров

Figure 2. Stages of the cluster lifecycle

Таблица 1. Классификация видов туризма

Table 1. Classification of types of tourism

Родовой вид туризма (базовый вид) Generic type of tourism (basic view)	Вид туризма (согласно Стратегии развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 г.) Type of tourism (according to the Strategy of Tourism Development in the Russian Federation for the period to 2035)	Вид туризма (согласно Стратегии развития туризма на территории Северо-Кавказского федерального округа до 2035 года) Type of tourism (according to the Strategy of Tourism Development in the territory of the North Caucasus Federal District to 2035)
Активный Active	<ul style="list-style-type: none"> • Автотуризм / Car tourism • Горнолыжный туризм / Skiing tourism • Молодежный туризм / Youth tourism • Экологический туризм / Eco-tourism 	<ul style="list-style-type: none"> • Активный туризм / Active tourism • Горнолыжный туризм / Skiing tourism • Спортивный туризм / Sports tourism • Экологический туризм / Eco-tourism
Круизный Cruise	<ul style="list-style-type: none"> • Круизный туризм / Cruise tourism 	<ul style="list-style-type: none"> • Круизный туризм / Cruise tourism

		<ul style="list-style-type: none"> • Пляжный туризм / Beach tourism
Культурно-познавательный Cultural and educational	<ul style="list-style-type: none"> • Культурно-познавательный туризм / Cultural and educational tourism • Научный туризм / Scientific tourism • Сельский туризм / Rural tourism 	<ul style="list-style-type: none"> • Культурно-познавательный туризм / Cultural and educational tourism • Сельский туризм / Rural tourism
Лечебно-оздоровительный Medical and health	<ul style="list-style-type: none"> • Лечебно-оздоровительный туризм / Medical and health tourism 	<ul style="list-style-type: none"> • Лечебно-оздоровительный туризм / Medical and health tourism
Деловой Business	<ul style="list-style-type: none"> • Деловой туризм / Business tourism • Промышленный туризм / Industrial tourism 	
Нишевые виды туризма (авторское дополнение) Niche types of tourism (author's supplement)	<ul style="list-style-type: none"> • Фототуризм / Photo tourism • Кулинарный туризм / Culinary tourism • Этнический туризм / Ethnic tourism • Религиозный туризм / Religious tourism • Фитнес-туризм / Fitness tourism • Йога-туризм / Yoga tourism • Фестивальный туризм / Festival tourism 	



Рисунок 3. Альтернативная структура туристского кластера СКФО
Figure 3. Alternative structure of the NCFD tourism cluster

Ранее не функционировавшими на Северном Кавказе считаются пляжный и круизный виды туризма. Однако длина береговой линии Каспийского моря по территории Республики Дагестан составляет 530 км, при этом большая часть – это песчаные пляжи (Махачкалинский (80 км), Самурский (42 км), Манасский (48 км) и Каякентский (40 км) и др.), что предопределяет профиль территории с экономической точки зрения. Все же территория требует вложений и долгосрочных инвестиций для обновления и пополнения парка круизных кораблей, создания инфраструктуры пляжных дестинации (в том числе мест размещения, персонал, пляжных локаций и пр.).

Возможность совмещения пляжного и горнолыжного туризма является привлекательным маркетинговым ходом для активизации посещаемости Северного Кавказа туристами.

Еще большей привлекательностью будет обладать туристический кластер Северного Кавказа в случае включения в него бальнеологической

составляющей в виде знаменитых лечебно-оздоровительных курортов (Кавказские минеральные воды) как сегмента (субкластера). Подобный вид туризма обладает особенностью, что предопределяет наличие спецификации нормативно-правового регулирования (Стратегия развития санаторно-курортного комплекса Российской Федерации (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 26 ноября 2018 г. N 2581-р)) и выделение оздоровительной зоны в отдельные ОЭЗ (города-курорты). Однако, учитывая синергетический эффект от слияния горнолыжного, пляжного, санаторно-курортного туризма, сконцентрированных на единой территории площадью 258 тыс. км² (1 % территории России), видится логичным и экономически эффективным включение бальнеологических зон Кавминвод в туристический кластер Северного Кавказа. Как вариант это может быть сделано в форме городов-курортов (пример – г. Кисловодск, на территории которого осуществляется работа по Перечню мероприятий по комплексному

развитию города-курорта Кисловодска до 2030 года (утвержден распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 декабря 2016 г. N 2899-р).

Данные анализа показали, что удельный вес санаторно-курортных организаций Северо-Кавказского федерального округа в общероссийском объеме составляет около 10 процентов [8], доходы санаторно-курортных организаций от предоставляемых услуг за

5 лет по СКФО увеличились на 5 670 110,4 тыс. руб. или 27,6 процентов, что является достаточно значимым приростом. Большое влияние на рост доходов СКФО от оказания услуг санаторно-курортных организаций обусловлено ростом соответствующего показателя в Ставропольском крае (рис. 4), что еще раз подчеркивает важность включения бальнеологического субкластера в состав туристического кластера СКФО.

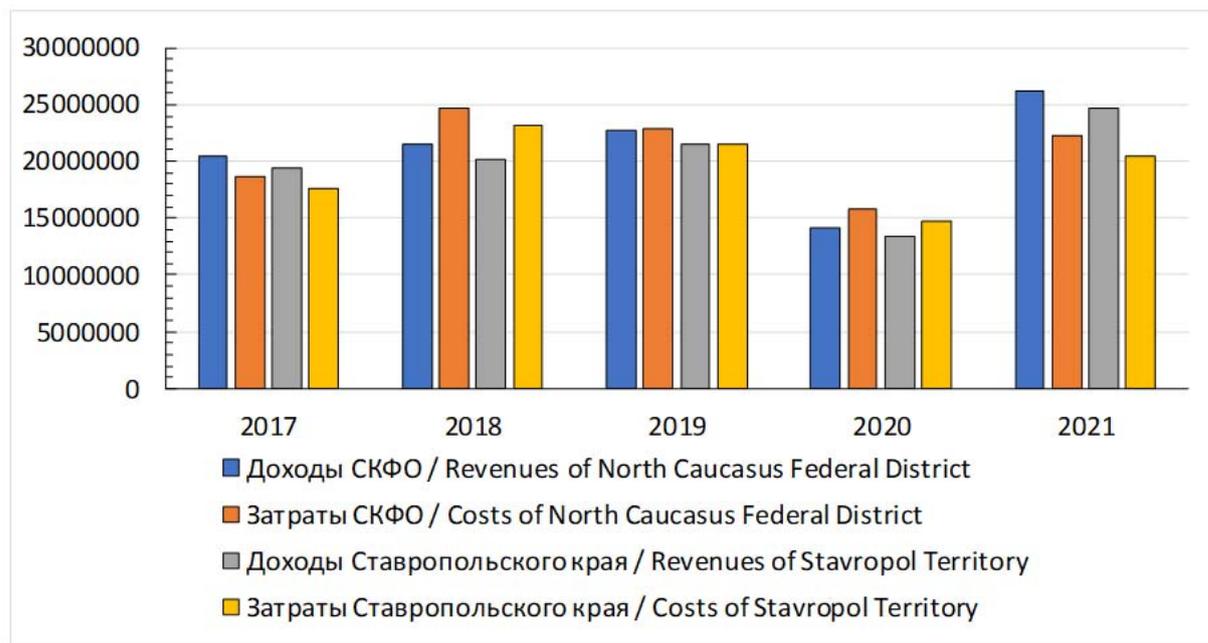


Рисунок 4. Динамика доходов и затрат санаторно-курортных организаций от предоставляемых услуг (тыс. рублей)
Figure 4. Dynamics of income and expenses of sanatorium-resort organisations from the services provided (thousand rubles)

Вышеуказанные обстоятельства определяют рациональность решения о модернизации туристического кластера Северного Кавказа от однородного (горнолыжного) до мультинаправленного, что позволит использовать весь многогранный туристический потенциал федерального округа на юге России. В авангарде Северо-Кавказского туркластера целесообразно расположить горнолыжный и санаторно-курортный субкластеры, которые «обрастут» нишевыми видами туризма, что позволит накапливать

стоимость на всех этапах туристической дестинации (рис. 5).

Подобная цепь должна служить для организации деятельности субъектов в сфере развлечения туристов, превращающей их во взаимодействующие элементы кластера, подразумевая более глубокую технологическую кооперацию, в которой резиденты участвуют в системе накопления стоимости, однако при этом не перестают конкурировать между собой (рис. 6).

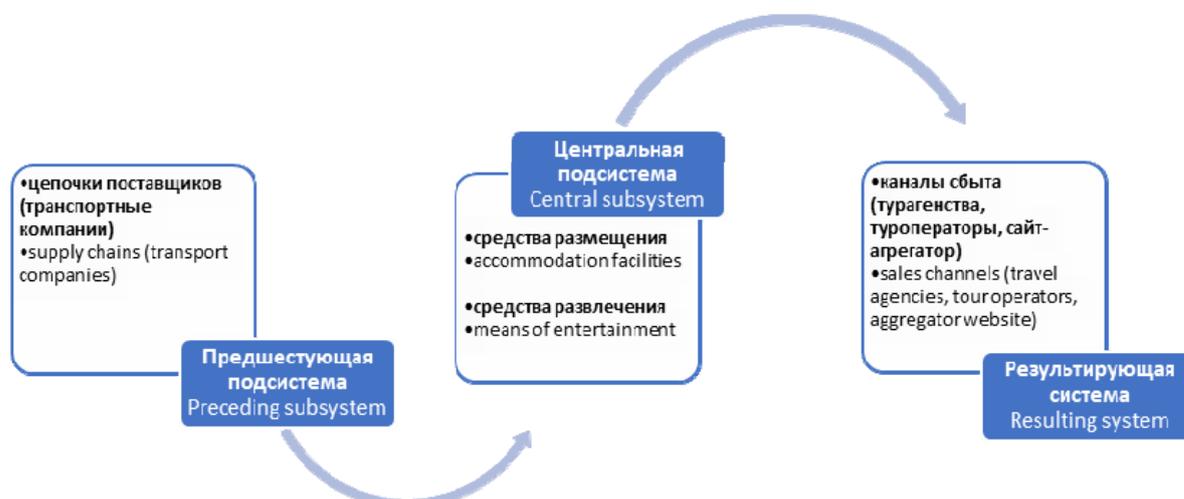


Рисунок 5. Система накопления стоимости в туристическом кластере
Figure 5. System of accumulation of value in a tourist cluster

В результате работы по сбору информации управляющей компании туристического кластера СКФО в целях маркетингового продвижения следует создать и отразить в интерактивной карте все объекты реестров достопримечательностей, объектов размещения, транспортных компаний, субъектов развлекательной сферы, предусматривающей несколько слоев по

выбору потребителя услуг. Подобные карты полезны в создании программы отдыха туристов, для резидентов оборачиваются своими выгодами – будет задействован весь потенциал туристской сферы, все четыре звена системы накопления стоимости туристического кластера [11]. Подобного ресурса в сети на сегодняшний день нет.

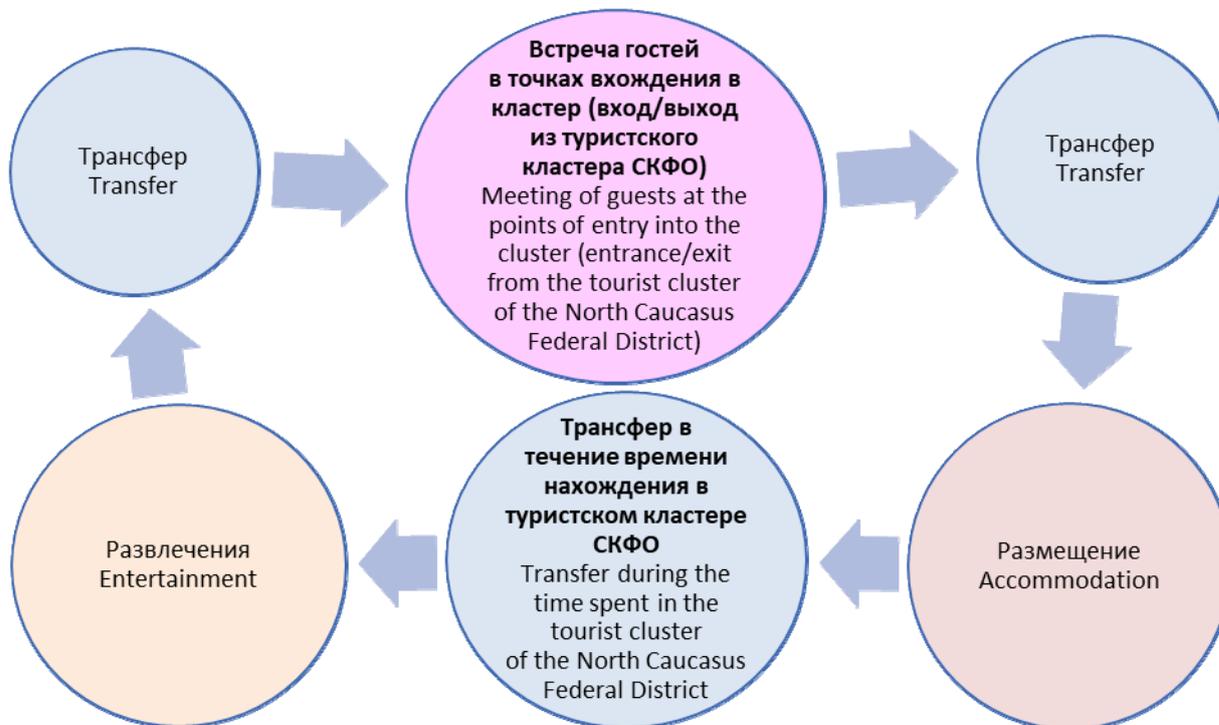


Рисунок 6. Фрагмент системы накопления стоимости тура для посетителей туристического кластера СКФО
Figure 6. Fragment of the system of accumulation of the cost of the tour for visitors of the tourist cluster of the NCFD

Исходя из вышеизложенного, авторы предлагают модернизировать архитектуру туристического кластера СКФО. Модель представлена на рисунке 7.

Такая матричная структура кластера позволит разработать наилучший маркетинговый план, который охватит все виды услуг мультинаправленного туристского кластера СКФО на всех этапах формирования стоимости туристских продуктов. При этом будет получен максимальный синергетический эффект от взаимодействия в бизнесе поставщиков однородных услуг в кластере, осуществляющих свою деятельность на основе кооперации и конкуренции. Каналы связи между элементами кластера позволяют плавно «передвигаться» туристам по кластеру между местами размещения и местами развлечений через транспортно-логистическую сеть.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этой связи новыми задачами для управляющей компании туристического кластера становятся:

- Включение санаторно-курортного комплекса Северного Кавказа в туристический кластер СКФО как субкластер (сегмент) лечебно-оздоровительного туризма. На данный момент это основная задача, т.к. бальнеологические центры в целях продвижения станут драйвером для популяризации туристского кластера Северного Кавказа на российском и мировом пространстве. Проблема может заключаться в том, что

санатории подотчетны Министерству здравоохранения, что потребует соглашения между Министерством экономического развития РФ и Министерством здравоохранения о предоставлении услуг лечебно-медицинского туризма, продвижению этих услуг, соединению к единому маркетинговому плану АО «Кавказ. РФ»;

- Создание среды для развития нишевых видов туризма как рынка сопутствующих услуг. Такой средой должна стать цифровая платформа, которая дает возможность продажи своих товаров и услуг для зарегистрированных поставщиков сопутствующих услуг, т.е. они получают прямой выход на целевой сегмент, покупателей без дополнительных затрат на рекламу. Свои выгоды есть и для администрации субъектов – такое построение торговли туристическими услугами позволяет контролировать рынок. Во-первых, чтобы стать пользователем платформы поставщикам услуг следует пройти процедуру регистрации (которая одновременно может стать регистрацией в качестве самозанятого или ИП, по желанию). Такая регистрация позволяет контролировать уплату налогов с предпринимательской деятельности этих лиц без дополнительных издержек. Для потребителей туристических услуг регистрация поставщика на платформе – это залог безопасности, т.к. зачастую покупка туристических услуг и товаров на прочих

интернет ресурсах может оказаться мошеннической операцией;

- Создание транспортно-логистической сети.

Участниками данной сети должны стать транспортные

компании и самозанятые, которые также должны пройти процедуру регистрации и сертификации на цифровой платформе.

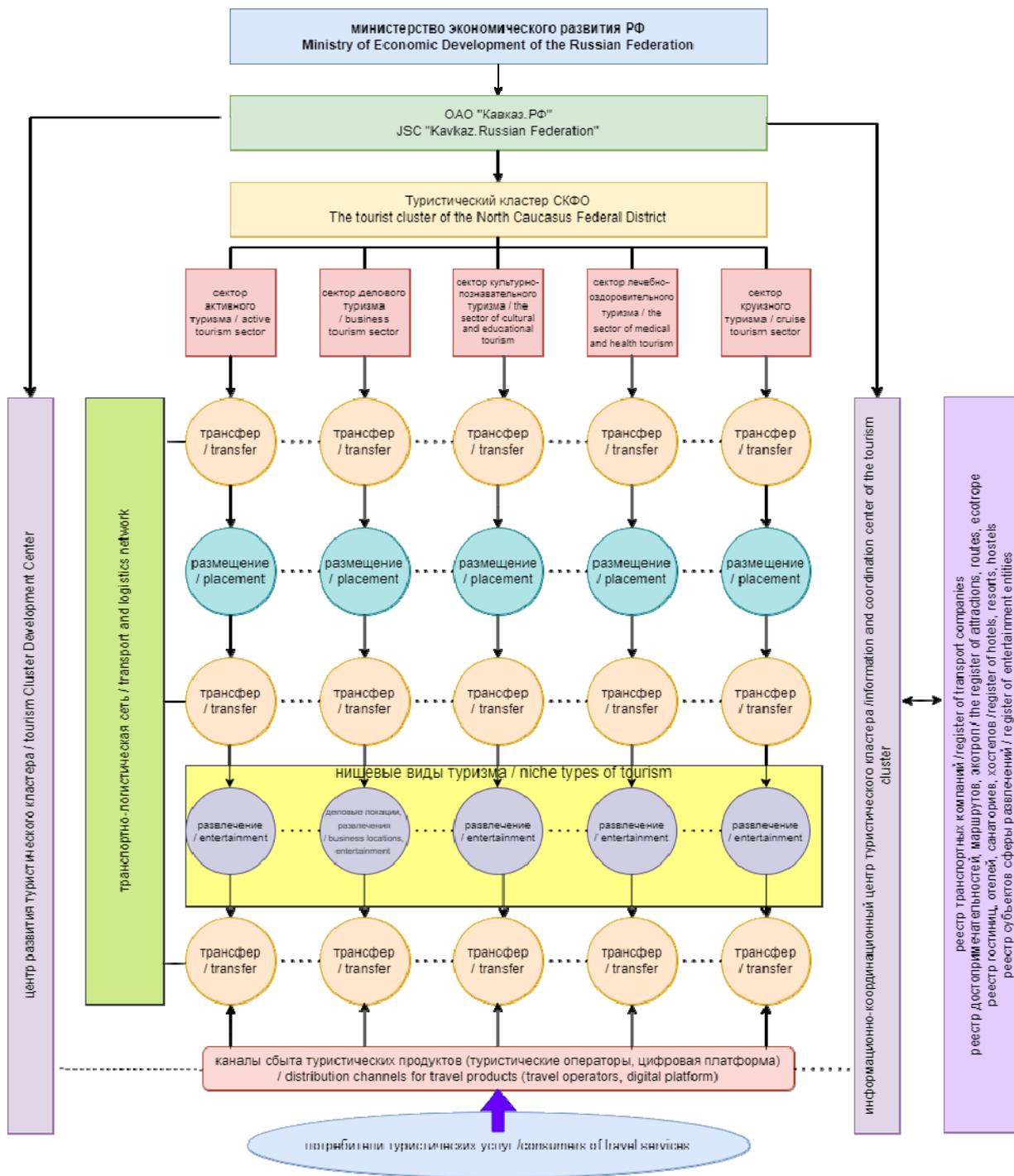


Рисунок 7. Модернизированная организационная структура туристского кластера Северного Кавказа
Figure 7. The modernised organizational structure of the tourism cluster of the North Caucasus

БЛАГОДАРНОСТЬ

Статья подготовлена по результатам исследований, выполненных за счет бюджетных средств по государственному заданию Финуниверситета ВТК-ГЗ-ПИ-47-22 «Конфигурация маркетингового управления продвижением курортных территорий Северо-Кавказского туристического кластера».

ACKNOWLEDGMENT

The article was based on the results of research carried out with budgetary funds according to the state assignment of the Financial University VTK-GZ-PI-47-22 "Configuration of Marketing Management for the Promotion of Resort Areas of the North Caucasus Tourist Cluster".

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тадтаева В.В., Тегетаева О.Р., Багаев Б.Э. Государственное регулирование туризма в Российской Федерации // Управленческий учет. 2022. N 7. С. 594–600.
2. Гасиева З.П., Гиголаев Г.Ф., Тегетаева О.Р. Механизм функционирования Северо-Кавказского туристического кластера // Управленческий учет. 2022. N 9–2. С. 161–167.
3. Атаев З.В., Гаджибеков М.И., Абдулаев К.А., Раджабова Р.Т. Природное и культурно-историческое наследие Дидойской котловины и ее горного обрамления как потенциал развития туризма и рекреации // Юг России: экология, развитие. 2019. Т. 14. N 3. С. 82–91. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-3-82-91>
4. Матюгина Э.Г., Пожарницкая О.В., Вусович О.В. Природный потенциал как основа формирования туристско-рекреационного профиля территории (на примере Республики Дагестан) // Юг России: экология, развитие. 2019. Т. 14. N 2. С. 132–149. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-2-132-149>
5. Тегетаева О.Р. Актуальные проблемы развития туристического кластера в СКФО // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки // Материалы XII Международной научно-практической конференции, Владикавказ, 5–6 декабря, 2022. С. 481–486.
6. Вишняков Н.В., Зеленская О.Ю. Мониторинг туристско-рекреационной деятельности особо охраняемых природных территорий как эффективный индикатор прогнозируемого развития туристских территорий // Юг России: экология, развитие. 2018. Т. 13. N 4. С. 119–128. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-4-119-128>
7. Камалова Т.А., Магомедбеков Г.У., Нажмутдинова С.А., Абдуллаев Н.А. Проблемы и перспективы устойчивого развития туристско-рекреационного комплекса Республики Дагестан // Юг России: экология, развитие. 2017. Т. 12. N 2. С. 213–228. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2017-2-213-228>
8. Енин А.Е., Азизова-Полуэктова А.Н. Архитектурная туристско-рекреационная система: структура, свойства, отношения // Юг России: экология, развитие. 2017. Т. 12. N 1. С. 139–147. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2017-1-139-147>
9. Гасиев В.И., Тадтаева В.В., Тегетаева О.Р. Социологическое исследование туристической привлекательности курортных территорий Северного Кавказа // Экономические науки. 2022. N 9. С. 39–42.
10. Тегетаева О.Р., Тадтаева В.В., Гасиева З.П. Структурный анализ и возможности реализации туристско-рекреационного потенциала Северо-Кавказского федерального округа // Экономические науки. 2022. N 9. С. 65–71.
11. Макаров П.Ю., Чуб А.А. Социально-экономические характеристики региона как основание успеха брендинга территорий // Вопросы государственного и муниципального управления. 2022. N 3. С. 142–170. <https://doi.org/10.17323/1999-5431-2022-0-3-142-170>
12. Сердюкова Н.К., Сердюков С.Д. Modern business development strategies in the tourism and hospitality industry // Вестник Академии знаний. 2022. N 3(50). С. 291–298.

REFERENCES

1. Tadtayeva V.V., Tegetaeva O.R., Bagaev B.E. State regulation of tourism in the Russian Federation. *Upravlencheskii uchet* [Managerial accounting]. 2022, no. 7, pp. 594–600. (In Russian)
2. Gasieva Z.P., Gigolaev G.H., Tegetaeva O.R. Mechanization of the North Caucasian tourist cluster. *Upravlencheskii uchet* [Managerial accounting]. 2022, no. 9–2, pp. 161–167. (In Russian)
3. Ataev Z.V., Gadzhibekov M.I., Abdulaev K.A., Radzhabova R.T. The natural and cultural-historical heritage of the Didoy basin and its mountain framing as a potential for the development of tourism and recreation. *South of Russia: ecology, development*, 2019, vol. 14, no. 3, pp. 82–91. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-3-82-91> (In Russian)
4. Matyugina E.G., O Pozharnitskaya.V., O. Vusovich.V. Natural potential as the basis for the formation of the tourist and recreational profile of the territory (on the example of the Republic of Dagestan). *South of Russia: ecology, development*, 2019, vol. 14, no. 2, pp. 132–149. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-2-132-149> (In Russian)
5. Tegetaeva O.R. Aktual'nye problem razvitiya turisticeskogo klastera v SKFO [Actual methods of development of the Tourism cluster in Russia]. *Materialy XII mezhregional'noi konferentsii «Molodye uchenye v reshenii aktual'nyh problem nauki», Vladikavkaz, 5–6 dekabrya 2022* [Proceedings of International Scientific and Practical Conference “Young scientists in the study of an actual teaching method”, Vladikavkaz, 5–6 December 2022]. Omsk, 2022, pp. 481–486. (In Russian)
6. Vishnyakov N.V., Zelenskaya. O.Yu. Monitoring of tourist and recreational activities of specially protected natural territories as an effective indicator of the projected development of tourist territories. *South of Russia: ecology, development*, 2018, vol. 13, no. 4, pp. 119–128. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-4-119-128> (In Russian)
7. Kamalova T.A., Magomedov G.U., Nazhmutdinova S.A., Abdullaev N.A. Problems and prospects of sustainable development of the Turkish-republican complex of the Republic of Kazakhstan. *South of Russia: ecology, development*, 2017, vol. 12, no. 2, pp. 213–228. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2017-2-213-228> (In Russian)
8. Enin A.E., Azizova-Poluektova A.N. Architectural tourist and recreational system: structure, properties, relations. *South of Russia: ecology, development*, 2017, vol. 12, no. 1, pp. 139–147. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2017-1-139-147> (In Russian)
9. Gasiev V.I., Tadtayeva V.V., Tegetaeva O.R. Sociological research of the tourism industry in Russia. *The Caucasus. Ekonomicheskie nauki* [Economic sciences]. 2022, no. 9, pp. 39–42. (In Russian)
10. Tegetaeva O.R., Tadtayeva V.V., Gasieva Z.P. Structural analysis and possibilities of realizing the tourist and recreational potential of the North Caucasus Federal District. *Ekonomicheskie nauki* [Economic sciences]. 2022, no. 9, pp. 65–71. (In Russian)
11. Makarov P.Yu., Chub A.A. Socio-economic characteristics of the region as the basis for the success of branding territories. *Issues of state and municipal management*, 2022, no. 3, pp. 142–170. <https://doi.org/10.17323/1999-5431-2022-0-3-142-170>. (In Russian)

12. Serdyukova N.K., Serdyukov S.D. Modern business development strategies in the tourism and hospitality

industry. Vestnik Akademii znanii [Bulletin of the Academy of Knowledge]. 2022, no. 3(50), pp. 291–298. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Тамерлан А. Хубаев провел анализ показателей санаторно-курортных организаций. Оксана Р. Тегетаева разработала модель построения туристического кластера Северного Кавказа. Тамерлан А. Хубаев и Оксана Р. Тегетаева проанализировали систему накопления стоимости тура. Оба автора в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Tamerlan A. Hubaev analysed the indicators of sanatorium-resort organizations. Oksana R. Tegetaeva developed a model for building a tourist cluster in the North Caucasus. Tamerlan A. Hubaev and Oksana R. Tegetaeva analysed the system of accumulation of the cost of the tour. Both authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Тамерлан А. Хубаев / Tamerlan A. Hubaev <https://orcid.org/0000-0003-0452-5237>

Оксана Р. Тегетаева / Oksana R. Tegetaeva <https://orcid.org/0000-0002-2282-5041>

Оригинальная статья / Original article

УДК 626.810

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-17



Преобразование рельефа юга Астраханской области после расширения сельскохозяйственных угодий в начале прошлого столетия

Зоя В. Никифорова¹, Светлана Р. Кособокова¹, Александр Н. Мармилов¹,
Дмитрий И. Шабанов¹, Евгения А. Медведева¹, Нухкади И. Рабазанов^{2,3},
Евгения А. Сокольская⁴

¹Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, Астрахань, Россия

²Прикаспийский институт биологического разнообразия Дагестанского федерального исследовательского центра РАН, Махачкала, Россия

³Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

⁴Астраханский государственный университет, Астрахань, Россия

Контактное лицо

Светлана Р. Кособокова, кандидат биологических наук, доцент, зав. кафедрой «Геодезия, кадастровый учет», Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, доцент кафедры ботаники, биологии экосистем и земельных ресурсов, Астраханский государственный университет; 414056 Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 18.
Тел. +79371354900
Email kossveru@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0009-0008-2744-5719>

Формат цитирования

Никифорова З.В., Кособокова С.Р., Мармилов А.Н., Шабанов Д.И., Медведева Е.А., Рабазанов Н.И., Сокольская Е.А. Преобразование рельефа юга Астраханской области после расширения сельскохозяйственных угодий в начале прошлого столетия // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 1. С. 162-170. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-17

Получена 14 ноября 2023 г.

Прошла рецензирование 24 декабря 2023 г.

Принята 15 января 2024 г.

Резюме

Цель – установить причины и следствия изменения рельефа юга Астраханской области в период с 1900–1970 гг.

Сопоставление картографических материалов прошлых лет с данными по космическим снимкам дистанционного зондирования последних лет. Производилось наложение материалов, в геоинформационной программе, затем обрисовывались и измерялись гидрологические элементы рельефа и Бэровские бугры с целью количественного и качественного анализа изменения территории (до и после проведения мелиоративных работ, существующий в настоящее время рельеф)

Анализ материалов выявил существенное преобразование рельефа, послужившему толчком развитию зоны полупустыни.

Проведенная работа выявила антропогенное воздействие на рельеф в следствии чего, большая часть территории была подвержена осушению в следствии мелиоративных работ связанных с увеличением пахотных земель.

Ключевые слова

Мелиорация, обваловывание, вторичное засоление, Бэровские бугры, пахотные земли, ильмень, ерик.

Transformation of the relief of the southern Astrakhan region (Russia) after the expansion of agricultural land at the beginning of the last century

Zoya V. Nikiforova¹, Svetlana R. Kosobokova¹, Alexander N. Marmilov¹, Dmitry I. Shabanov¹, Evgenia A. Medvedeva¹, Nukhkadi I. Rabazanov^{2,3} and Evgeniya A. Sokolskaya⁴

¹Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russia

²Caspian Institute of Biological Resources, a separate subdivision of the Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

³Dagestan State University, Makhachkala, Russia

⁴V.N. Tatishchev Astrakhan State University, Astrakhan, Russia

Principal contact

Svetlana R. Kosobokova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Geodesy and Cadastral Accounting, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering & Associate Professor, Department of Botany, Biology of Ecosystems and Land Resources, Astrakhan State University; 18 Tatishcheva St, Astrakhan, Russia 414056.

Tel. +79371354900

Email kossveru@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0009-0008-2744-5719>

How to cite this article

Nikiforova Z.V., Kosobokova S.R., Marmilov A.N., Shabanov D.I., Medvedeva E.A., Rabazanov N.I., Sokolskaya E.A. Transformation of the relief of the southern Astrakhan region (Russia) after the expansion of agricultural land at the beginning of the last century. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(1):162-170. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-17

Received 14 November 2023

Revised 24 December 2023

Accepted 15 January 2024

Abstract

To establish the causes and consequences of changes in the relief of the southern Astrakhan region in the period 1900–1970.

Comparison of cartographic materials of past years with data in recent satellite remote sensing images. The materials were superimposed on a geof ormation program: then the hydrological elements of the relief and the Baer hills were outlined and measured for the purpose of quantitative and qualitative analysis of changes in the territory (before and after reclamation works and the currently existing relief).

The analysis of the materials revealed a significant transformation of the relief, which has served as an impetus for the development of a semi-desert zone in this area.

The work carried out revealed the anthropogenic impact on the relief through which most of the territory was subject to drainage as a result of reclamation works to increase in arable land.

Key Words

Land reclamation, banding, secondary salinization, Baer mounds, arable lands, Ilmen, Erik.

ВВЕДЕНИЕ

Пространственная структура всего Нижнего Поволжья построена по гидрологической сети. Все процессы, проходящие в реке и вокруг ее протоков, ериков и ильменей, будь то естественные или антропогенное воздействие определяют рельеф развития региона. Естественными процессами, к примеру, являются такие как флювиальная аккумуляция, местами боковая эрозия, изменение режима подземных вод и все эти процессы происходят в течение длительного времени. Прогресс и развитие машиностроения в короткие сроки смогли до неузнаваемости изменить рельеф огромных территорий и направить природные процессы в новое русло. Произведенные мелиоративные работы в прошлом веке повлияли на рельеф большей части территории Астраханской области, увеличив зоны опустынивания и уменьшив ее обводнение. Растениеводство в Дельте Волги до начала прошлого столетия практически не осуществлялось, по причине затопления во время паводка большей части плодородных земель. Крестьянам приходилось вручную возводить земляные валы позволяющих уменьшить зоны затопления, получая новые территории под пахотные земли. Преимущественно для возведения дамб выбирались места между Бэровских бугров. Начиная с 60-х годов с помощью механизации стало возможно увеличить территории для растениеводства. Благоприятный климат позволял получать по несколько урожаев за сезон. Экономические пертурбации в начале 2000-х привели к прекращению использования пахотных земель. Отсутствие орошения, множество водооградительных валов по берегам рек уменьшило обводнение, и привело к увеличению зон опустынивания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Рельеф Астраханской области, необычен из-за сочетания ландшафтов, представлен как пустыней, так и множеством водных объектов, мелких речек (старич) ильменей.

Естественно, сложившиеся формы рельефа изменялись не значительно, до середины 20-го века. В начале прошлого столетия население вело хозяйство используя естественный ландшафт.

Люди, населявшие эти территории, подстраивались в ведении хозяйства под местность. Имеющиеся огромные площади под заливными лугами способствовали сохранению естественного ритма территории и развитию животноводства.

Ведение сельского хозяйства в Астраханской области по большей части распределялось вдоль водоемов. Наибольше обводненные территории приходилось на дельту Волги. Всех Волжских протоков и рукавов, образующих громадную дельту, насчитывалось около 200. Большая часть протоков находится на левой стороне реки Волги. Главными из них кроме Ахтубы являлись: Бузан, Болда, Кутум, Царев, Камызяк, Бахтимир и др., по книге «Плодоводство, огородничество, и бахчеводство у крестьян Астраханской губернии» автора И. И. Петрушевского [1, с. 23].

Огородничество и растениеводство в условиях жаркого климата и отсутствия дождей развивалось очень медленно. В первую очередь для развития растениеводства решалась проблемы с орошением и подтоплением в паводок земельных участков.

Необходимо было сохранять почти на весь летний период большие объемы воды. Кроме этого, для повышения урожая выбирались участки высохших или бездействующих водоемов, из-за наличия на них большого количества плодородного ила [2].

Решение этих проблем способствовали первые мелиоративные работы на территории Астраханской области призванные как сохранять большие объемы воды, предотвращать затопление, не допускать засоление почвы.

Самым удобным местом для выполнения этих задач послужила опять-таки своеобразные формы рельефа Дельты р. Волги, Бэровские бугры.

Бэровские бугры представляют собой чередующиеся гряды высотой до 11 метров. Межбугровые понижения в паводок затоплялись водой, и уровень Волги поднимался (до зарегулирования стока) на 9,5 футов (2,9 м), не затопляемыми островками при этом оставались вершины Бэровских бугров. Спадающая вода задерживалась в естественных понижениях рельефа образуя ильмена и грязи [3, с. 10].

В работе Г.И. Лакина подробно описывается деятельность крестьян по каждому населенному пункту и хутору, и рассмотрены подходы населения применительно по районированию с учетом ландшафтных характеристик, с применением мелиорации для увеличения пахотных земель.

Крестьяне возводили водооградительные валы (дамбы) между буграми, в одном случае, защищая более подходящие места для посевов, осушая ильмень. В другом наоборот сохраняли воду в ильмене возведя дамбу в период наполнения его водой (см. рис. 1). Такой бассейн обеспечивал увеличение органики плодородного ила на будущий год и водой для полива садов на бугре. Бассейн назывался «водяной пар», и земля при этом отдыхала, набирала плодородный ил. Помимо этого считалось, что такая система, сохранения воды, возможно помогает в борьбе с засолением [4, с. 62]. В дальнейшем система «водяного пара» была отвергнута по причине усиления процесса вторичного засоления и заболачивания помимо участка, находящегося под водой, но и прилегающий территорий [5].

При строительстве водооградительных валов высота должна была быть выше самого большого уровня воды в половодье, ширина вдвое больше высоты и для удобства сообщения между буграми и свободного проезда на арбе. Бахчеводство в ильмене главным образом развито было в Царевской волости (Приволжском районе), Астраханского уезда [1, с. 59].

Ильмень одного села, находясь в соседстве, объявлялся общим, для двух бугров, и все водооградительные дамбы одного села составляли одну непрерывную цепь. Устройство земляных валов, являлось результатом работы целого села, и создавались они не сразу, а постепенно.

Пропуск воды в ильмень и выпуск из него производится, не при помощи чигиря, а для этого прорывается вал в месте тихого течения узкою канавою, которая называлась «воротами». Напуск воды в ильмень производится, когда вода начинала идти на убыль. До напуска воды в ильмень запускали коров, лошадей на подножный корм, а уже после напускали воду. После чего скотине приходилось довольствоваться скудной растительностью на буграх. Вода оставалась запертой в ильмене до начала следующей

весны если участок на парах, за это время осаждалась и хорошо увлажнялась почва. Кроме того, разложения растительного остатка прошлого года и развитие растительной и водной органики, давали будущему году новые запасы углеродных и азотистых органических веществ. Выпускалась вода из ильменя осенью, или ранней весной в зависимости от того, когда

необходимо было использовать землю, для ранней пашни (в начале апреля) спуск воды производился осенью, а при поздней – ранней весной. После спуска воды крестьяне приступали к возведению и укреплению водооградительного вала (дамбы). Работы выполнялись с большой тщательностью, для избегания прорывов и безопасности посевов [1, с. 61].

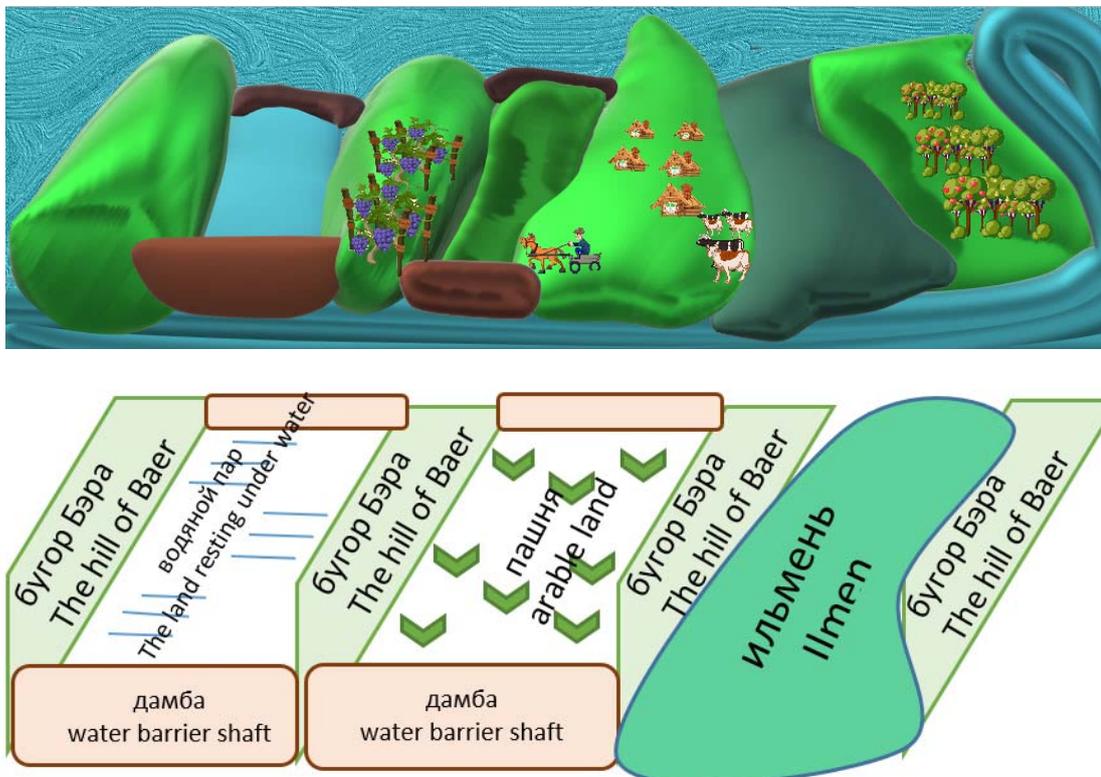


Рисунок 1. Использование земель в районе подстепных ильменей Дельты Волги
Figure 1. Land use in the area of the lower Ilmens of the Volga Delta

Вода для орошения использовалась как из протекающих речек, протоков, так и из замкнутых ильменей со стоячей водой. В последнем случае вода сплошь и рядом была мало пригодна для целей орошения (особенно если небольшой ильмени), вследствие большого содержания в ней солей. При орошении такой водой засоляются и без того богатыми растворимыми солями почвы исследуемого района, что без сомнения ведет к гибели существующих культур. Если к этому принять во внимание, что орошаемые могут поливаться в изобилии, то часто наблюдалось заболачивание почвы, если отсутствовали дренажные каналы. Так объяснялись причины неудачного культивирования садов и их преждевременной гибели [3, с. 10].

Общая площадь использованных земель под сельскохозяйственное производство составляло 34703,3 кв. верст или 39 494,174 кв км в наст время 44100 кв км. Занятые земли под сельское хозяйство составляли 372210,84 десятины (406 640, 343 га) из них «удобной» 1 543,23 десятины (168838,47 га), «неудобной» 196 582,72 десятины (214 766,62 га), а также Солонцы=53,6 %, для Выгона (пастбища)=35,4 % [6].

Черно суглинистая почва ильменей пригодна под пашню составляла 1874,9 десятины (2048,33 га) бахчи; 322 десятины (351,785 га) огороды; сенокосы 11063 десятины (12086,3275 га); Садоводство 50 % от всего 3202,5 десятины (3498,73 га) 1912 садов [7].

Сопоставляя выше изложенное указывает на распространение вторичного засоления, особенно в случаях, когда обвалывались не большие участки [4].

Неправильное орошение, в описываемой местности привело:

1. к заболачиванию пониженных площадей орошаемых участков;
2. к высокому стоянию грунтовых вод;
3. к поднятию солей из вышележащих слоев, в последствии из-за высокого испарения (климатические условия района) приводило к образованию солончаков и пространственного засоления почвы, борьба с которым почти невозможна.

По лабораторным исследованиям Н.И. Соколова Департамента Земледелия (Сельскохозяйственной химической лаборатории) в Санкт-Петербурге «Исследование солонцеватости почв под садами и огородами в Астраханской губернии», им же был предложен подход при орошении:

- 1) На орошаемых участках, наряду с оросительными канавами, необходимо устраивать дренаж, с обязательным отводом использованных почвенно-грунтовых вод.
- 2) Скопившиеся в дренажных канавах воды необходимо собирать в главный коллектор, из которого использованная вода должна быть удалена самотеком, откачиванием и т.д.)

3) Сады, расположенные по буграм Бэра, необходимо окружать глубокими канавами, в который собирались бы использованной воды для их удаления, с целью воспрепятствовать засолению нижерасположенных площадей.

4) В виду того, что большинство исследованных почв принадлежит к супесчаным и песчаным, в которых поднятие солей кверху происходит довольно быстро. Засыпаемые и осушаемые водоемы при возделывании необходимо чаще разрыхлять и особенно после полива: такое рыхление предотвратит возможное поднятие солей и скопленю их у поверхности [3, с. 80].

Описание приведенного земледелия действовало до 1915 г. Позже при проведении лабораторных исследований, выявивших ухудшение состояния почвы.

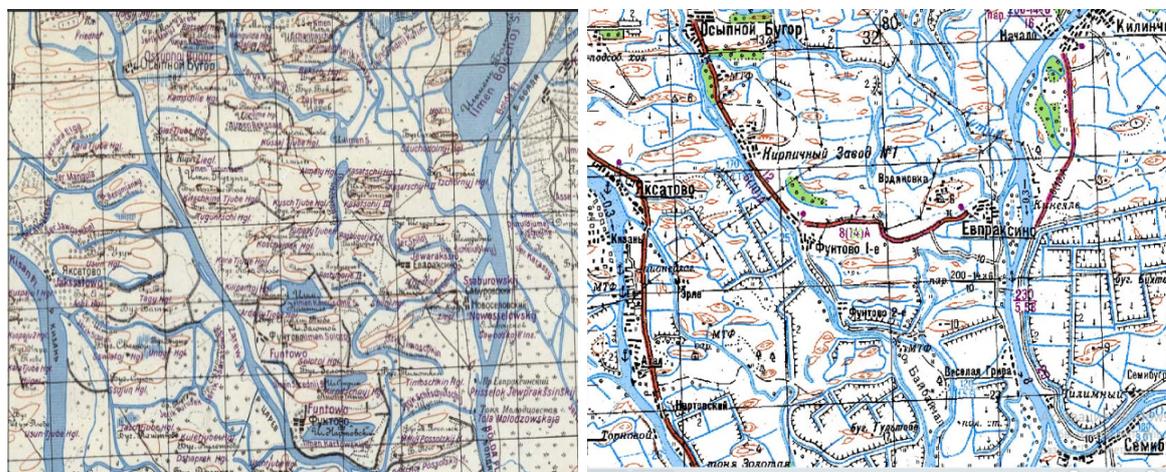
Проведение анализа такого земледелия заложило основу в 60–70 гг. прошлого века для мелиоративных работ в дельте Волги. С середины XX века развитие сельского хозяйства с применением

тракторов увеличило воздействие на рельеф Прикаспийской низменности [8].

Производимые мелиоративные работы были направлены на создание больших пахотных территорий. Увеличение этих территорий за счет ограничения затопляемых территорий путём обвалования берегов рек и обнесение затопляемых участков дамбами [9, с. 2].

Жаркий климат и отсутствие дождей ставило дополнительной задачей, перед мелиорацией, строительство оросительной системы каналов. Оросители не только должны были обеспечивать новые поля водой, но и ввиду близкого залегания соли, вымываемой из каспийских отложений бэровских бугров [4], сбрасывать излишки воды препятствуя вторичному засолению почвы (см. рис. 2).

Расширение посевных площадей происходило и за счет засыпания ильменей и ериков. Грунт для этих целей изымался там же от Бэровских бугров (см. рис. 2).



По состоянию на 1942 год
As of 1942

По состоянию на 1984 год
As of 1984

Рисунок 2. Сравнение топографических карт 1942 г. и 1984 г. Схема проведенных изменений
Figure 2. Comparison of topographic maps of 1942 and 1984, indicating the scheme of the changes carried out

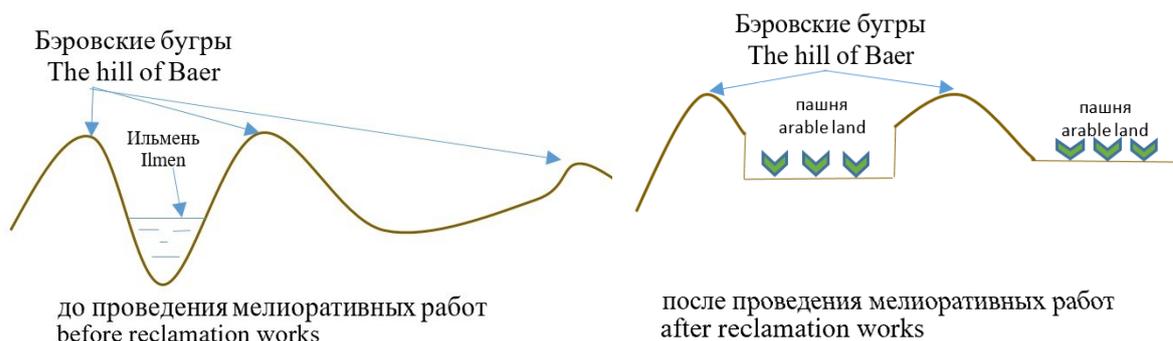


Рисунок 3. Схема изменений проведенных в ходе мелиоративных работ
Figure 3. Scheme of changes carried out during reclamation work

Наиболее эффективным способом для предотвращения засоления было признано систематические и правильно рассчитанные промывки. При наличии близко стоящих к поверхности засоленных грунтовых вод проводили закладку искусственного дренажа. Хорошим средством борьбы с засолением также считалось рисосеяние, сочетающие в себе получение урожая риса и промывку засоленных участков [9, с. 3].

Внедрение временных оросителей новая планировка, обоснование агротехнических мероприятий, изменили большую часть рельефа Нижнего Поволжья.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Произведенная оценка картографических материалов указывает на огромный объем произведенных мелиоративных работ:

- уничтожены естественные ильмена;
- срезаны и изъяты большинство Бэровских бугров;
- ограничены многие ерики и реки.

В подтверждение автором производился сравнительный и численный анализ. В первом случае производилось сравнение и отрисовка существующих водоемов по ортофотопланам 2022 г. и топографической карте 1942 г. Картографические материалы налагались на друг друга и привязывались по

координатам, во избежание представления ложной информации. В качестве подложки использовались интернет-карта в реальном времени и сверху налагалась уже топографическая карта 1942 г. При сличении создавалась отрисовка всех водных объектов. Водоемы старой карты выделялись зеленым цветом и синим – существующие водные объекты нового ортофотоплана. Результатом стала новая схема водных объектов существовавших до проведения мелиоративных работ и после (см. рис. 4).

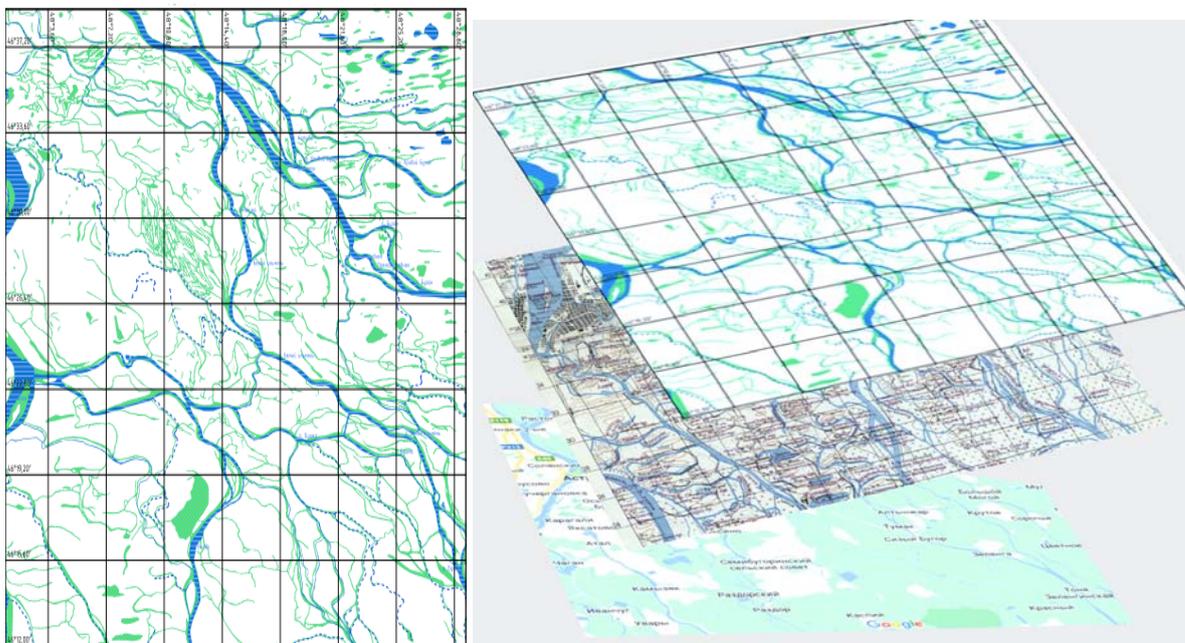


Рисунок 4. Гидрологическая сеть центральной части дельты Волги (синие линии – существующие водоемы, зеленые линии – исчезнувшие)

Figure 4. Hydrological network of the central part of the Volga delta (blue lines – existing reservoirs, green lines – reservoirs which have disappeared)

Следующим этапом стал количественный подсчет осушенных водоемов и срезанных Бэровских под пашню[10]. По собранным данным была составлена таблица 1.

В ходе мелиоративных работ, как описывалось выше уничтожены водоемы, а также процессе изъятия

грунта для производства строительных материалов и планировочных работ при организации дорожной сети были сведены Бэровские бугры, в таблице 2 представлены данные по изменению площади этих объектов.

Подсчет площади осуществлялся путем сличения двух карт (рис. 5).

Таблица 1. Данные по осушенным водоемам Астраханской области*

Table 1. Data on drained reservoirs of the Astrakhan region*

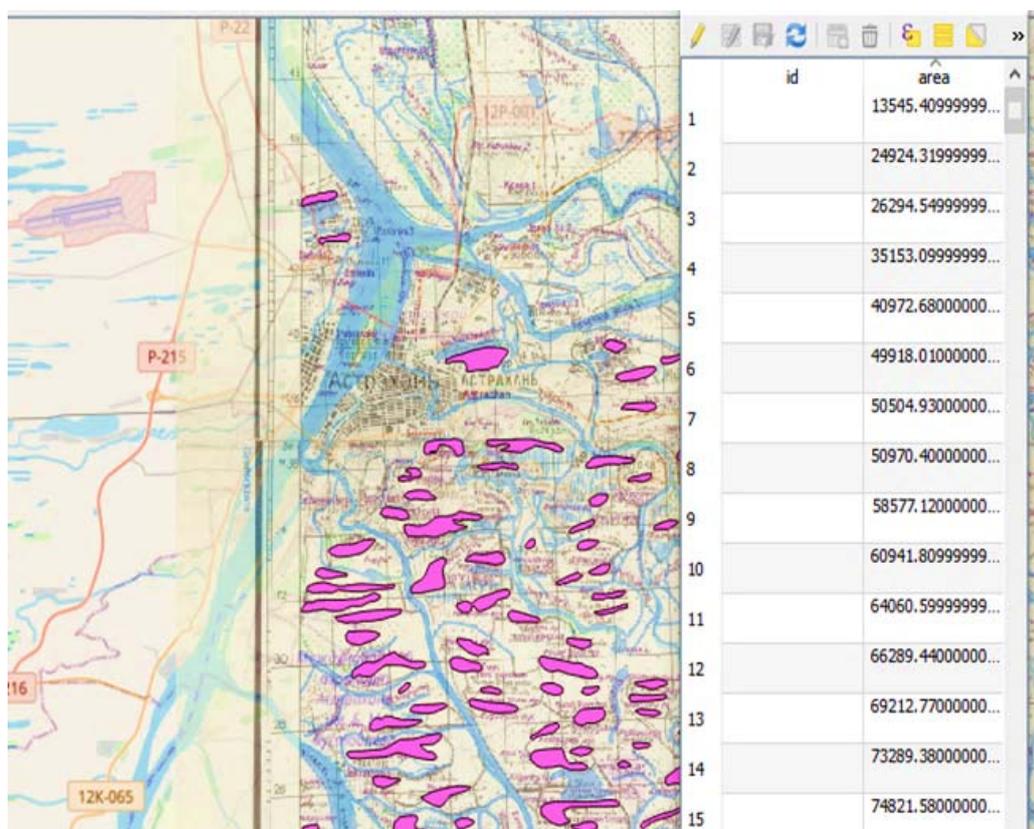
Название ерика Name of erik (channel)	Длина, км Length, km	Название ильмена Name of ilmen	Площадь, м ² Area, m ²
Кара-су / Kara-su	4	Ватажный / Vatazhny	60,472
Аззы-Куль / Azzy-Kul	5	Саркиль / Sarkil	10,666
Кривой / Krivoi	8	*Туркмен Кул С. / Turkmen Kul S.	5,716
Шанбаш / Shanbash	2	Кизыль Кул С. / Kizyl Kul S.	52,7118
Средний Кутум / Middle Kutum	6	Шуный Кул С. / Shunii Kul S.	54,842
Черный / Chernii	7	Большой Хворостной / Bolshoi Khvorostnoi	95,9635
Кара-Елга / Kara-Elga	2	Куйбас / Kuibas	253,2258
Мангула / Mangula	3	Родолис / Rodolis	86,8617
Безымянный / Bezimyannii	1	Родон / Rodon	55,8343
Ягачев / Yagachev	5	Тыжикул / Tyzhikul	55,3326
Штам / Shtam	4	Чухонский / Chukhonskiy	159,6487
Саратовск / Saratovsk	5		

Примечание: *Представленные данные собраны и подсчитаны З.В. Никифоровой при сопоставлении ортофотопланов 2022 г. и 1942 г.

Note: * The data presented here were collected and calculated by Zoya V. Nikiforova when comparing the 2022 and 1942 orthoplanes

Таблица 2. Данные по площади Бэровских бугров по состоянию на 1942 г. и 2022 г.**Table 2.** Data on the area of the Baer Hills as of 1942 and 2022

Название бугров Name of hill	Площадь м ² , на 1942 Area m ² , for 1942	Площадь м ² , на 2022 Area m ² , for 2022	Название бугров Name of hill	Площадь м ² , на 1942 Area m ² , for 1942	Площадь м ² , на 2022 Area m ² , for 2022
Ардолы Тюбе Ardoly Tube	1 754 646	135 498	Казачий 2 Kazachii 2	477 881	217 982
Золотой Zolotoi	1 652 325	255 447	Казачий 1 Kazachii 1	490 369	189 175
Кирпичный Kirpichnii	1 542 665	312035	Килипантой Kilipantoy	387 364	110 313
Нартовский Nartovsky	675 277	291 881	Кара Тюбе Kara Tyube	1 449 869	293 539
Тимошкин Timoshkin	627 624	89 479	Кашкайдак Kashkaidak	307 694	128 458
Посольский Posolskii	789 085	421 621	Купазы Kupazy	334 159	86 490
Шелудивый Sheludivnii	586 264	281 611	Куч Тюбе Kuch Tyube	784 892	30 078
Казачий 3 Kazachii 3	308 241	94 058	Тугунчи Tugunchi	926 136	21 603
Разбугорье 1 Razbugorye 1	216 858	60 084	Кичкин тюбе Kichkin Tyube	228 921	46 234
Разбугорье 2 Razbugorye 2	130 898	35 096	Зигл Zigl	691 138	28 852

**Рисунок 5.** Получение данных по площади Бэровских бугров**Figure 5.** Data obtained on the area of the Baer Hills

Осушение территории и увеличение посевных площадей уменьшило обводнение территории почти на 50 %, огромное количество экосистем были перенастроены или уничтожены. Начиная с 70-х годов, интенсивно развивается сельское хозяйство, все изъятые земли обрабатываются, но к концу уже

90-х годов в связи с экономическим кризисом пришла в упадок вся система промышленности и сельхоз производства. Многие орошаемые земли вышли из оборота, перестали обрабатываться и в связи с климатическими условиями часть из них подверглись опустыниванию, а другие, особенно те земли, которые

являлись бывшими ильменями, наоборот обводнению и засолению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изменение гидрологических условий в сторону снижения грунтовых вод, уменьшения роли паводков усиливает влияние зональных климатических факторов-высокой температуры, сильных иссушающих ветров, крайнего недостатка влаги и т.д. В условиях исключительно влияния этих факторов свойственных полупустыням, при участии характерной пустынной растительности формируются солонцеватые бурые почвы. Увеличение посевных площадей ставило вопрос о предотвращении распространения засоления почв и опустынивания. Мелиоративные работы и зарегулированный сток р. Волги, жаркий климат в совокупности привели опустыниванию большей территории юга Астраханской области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Петрушевский И.И. Плодоводство, огородничество и бахчеводство у крестьян Астраханской губернии. Астрахань: Паровая губернская типография, 1905. 243 с.
- Михайлов В.Н., Исупова М.В. Гидрологические, морфологические и экологические эффекты на соединении реки Волга - Каспийское море // Вестник Московского университета. Серия 5, География. 2014. N 1. С. 8–16. URL: https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/article/view/19?locale=en_US (дата обращения: 17.05.2023)
- Соколов Н.И. Исследование солонцеватости почв под садами и огородами в Астраханской губернии. Петроград: Типография Альтшулера, 1916. 102 с. URL: http://elib.skunb.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecVewPlugin.actions.document&fDocumentId=72654 (дата обращения: 23.05.2023)
- Никифорова З.В. Особенности устьевой области Волги и оценка влияния использования водных ресурсов региона на гидролого-морфологические особенности // Материалы межрегиональной конференции «Актуальные проблемы недропользования», Санкт-Петербург, 12–16 апреля, 2021. Т. 6. С. 61–64. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=47198104>
- Гольчикова Н.Н., Никифорова З.В. Влияние хозяйственной деятельности человека на геоэкологические особенности некоторых территорий Астраханской области // Материалы XII Международной научно-практической конференции «Новейшие технологии освоения месторождений углеводородного сырья и обеспечение безопасности экосистем Каспийского шельфа», Астрахань, 03 сентября, 2021. С. 91–94. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46434047>
- Лакин Г.И. Сельскохозяйственное районирование Астраханской губернии. Астрахань: Астр. губ. упр. земледелия, 1922. 39 с. URL: <http://aonb.astranet.ru/dl/?file=http://aonb.astranet.ru/kk/pdf/bx00000089.pdf> (дата обращения: 21.05.2023)
- Лакин Г.И. Хозяйственно-экономические очерки и наблюдения. Астрахань: тип. Атаман. канцелярии, 1903. Т. 2. Вып. 1–2. 290 с.
- Кочуров Б.И., Воронин Н.И., Гольчикова Н.Н. и др. Геоэкологическая характеристика Астраханской области // Вестник АГТУ. Астрахань: Изд-во АГТУ. 2004. N 4. С.

116–122. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19437228> (дата обращения: 17.02.2023)

9. Кувшинов И.С. Развитие сельского хозяйства Волго-Ахтубинской зоны в связи со строительством Сталинградского гидроузла. Москва: Сельхозгиз, 1952. 407 с.

10. Pesaresi M. A new approach for the morphological segmentation of high-resolution satellite imagery // *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*. 2001. V. 39. P. 309–320. URL: https://www.researchgate.net/publication/3202538_A_new_approach_for_the_morphological_segmentation_of_high-resolution_satellite_imagery

REFERENCES

- Petrushevskii I.I. *Plodovodstvo, ogorodnichestvo i bakhchevodstvo u krest'yan Astrakhanskoi gubernii* [Fruit growing, horticulture and melon growing among the peasants of the Astrakhan province]. Astrakhan, Steam Gubernskaya printing house Publ., 1905, 243 p. (In Russian)
- Mikhailov V.N., Isupova M.V. [Hydrological, morphological and ecological effects at the junction of the Volga River - the Caspian Sea]. *Bulletin of the Moscow University. Series 5, Geography*, 2014, no. 1, pp. 8–16. (In Russian.) Available at: https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/article/view/19?locale=en_US (accessed 02.05.2023)
- Sokolov N.I. *Issledovanie solontsevatosti pochv pod sadami i ogorodami v Astrakhanskoi gubernii* [Investigation of salinity of soils under gardens and vegetable gardens in Astrakhan province]. Petrograd, Altshuler Printing House Publ., 1916, 102 p. Available at: http://elib.skunb.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecVewPlugin.actions.document&fDocumentId=72654 (accessed 05.05.2023)
- Nikiforova Z.V. Osobennosti ust'evoi oblasti Volgi i otsenka vliyaniya ispol'zovaniya vodnykh resursov regiona na gidrologo- morfologicheskie osobennosti [Features of the Volga estuary region and assessment of the impact of the use of water resources in the region on hydrological and morphological features]. *Materialy mezhtsevnaya konferentsii «Aktual'nye problemy nedropol'zovaniya», Sankt-Peterburg, 12–16 aprelya 2021* [Proceedings of the Interregional Conference “Current Problems of Subsoil Use”, St. Petersburg, 12–16 April 2021]. St. Petersburg, 2021, pp. 61–64. (In Russian) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47198104>
- Golchikova N.N., Nikiforova Z.V. Vliyaniye khozyaistvennoi deyatel'nosti cheloveka na geoekologicheskie osobennosti nekotorykh territorii Astrakhanskoi oblasti [The influence of human economic activity on the geoecological features of some territories of the Astrakhan region]. *Materialy XII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Noveishie tekhnologii osvoeniya mestorozhdenii uglevodorodnogo syr'ya i obespechenie bezopasnosti ekosistem Kaspiiskogo shel'fa», Astrakhan', 03 sentyabrya 2021* [Materials of the XII International Scientific and Practical Conference “The latest technologies for the development of hydrocarbon deposits and ensuring the safety of ecosystems of the Caspian shelf”, 03 September 2021]. Astrakhan, 2021, pp. 91–94. (In Russian) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46434047>
- Lakin G.I. *Sel'skokhozyaistvennoe raionirovanie Astrakhanskoi gubernii* [Agricultural zoning of Astrakhan province]. Astrakhan, Astrakhan province of agriculture Publ., 1922, 39 p. (In Russian) Available at:

<http://aonb.astranet.ru/dl/?file=http://aonb.astranet.ru/kk/pdf/bx000000089.pdf> (accessed 21.05.2023)

7. Lakin G.I. *Khozyaistvenno-ekonomicheskie ocherki i nablyudeniya* [Economic and economic essays and observations]. Astrakhan, Ataman's Office Publ., 1903, vol. 2, iss. 1–2, 290 p. (In Russian)

8. Kochurov B.I., Voronin N.I., Golchikova N.N., etc. *Geoekologicheskaya kharakteristika Astrakhanskoi oblasti* [Geoecological characteristics of the Astrakhan region]. Bulletin of the ASTU. Astrakhan, Publishing House of the ASTU, 2004, no. 4, pp. 116–122. (In Russian) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19437228> (accessed 17.02.2023)

9. Kuvshinov I.S. *Razvitie sel'skogo khozyaistva Volgo-Akhtubinskoi zony v svyazi so stroitel'stvom Stalingradskogo gidrouzla* [Development of agriculture of the Volga-Akhtuba zone in connection with the construction of the Stalingrad hydroelectric complex]. Moscow, Selkhozgiz Publ., 1952, 407 p. (In Russian)

10. Pesaresi M. A new approach for the morphological segmentation of high-resolution satellite imagery. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*. 2001, vol. 39, pp. 309–320. Available at: https://www.researchgate.net/publication/3202538_A_new_approach_for_the_morphological_segmentation_of_high-resolution_satellite_imagery

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Зоя В. Никифорова произвела анализ ортопланов и сбор исторических свидетельств хозяйственной деятельности. Светлана Р. Кособокова, Александр Н. Мармилов, Дмитрий И. Шабанов, Евгения А. Медведева, Нухкади И. Рабазанов и Евгения А. Сокольская проанализировали данные, написали рукопись. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Zoya V. Nikiforova analysed the orthoplanes and collected historical evidence of economic activity. Svetlana R. Kosobokova, Alexander N. Marmilov, Dmitry I. Shabanov, Evgeniya A. Medvedeva, Nukhkadi I. Rabazanov and Evgeniya A. Sokolskaya analysed the data and wrote the manuscript. All authors are equally responsible for the plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Зоя В. Никифорова / Zoya V. Nikiforova <https://orcid.org/0009-0000-6982-134X>

Светлана Р. Кособокова / Svetlana R. Kosobokova <https://orcid.org/0009-0008-2744-5719>

Александр Н. Мармилов / Alexander N. Marmilov <https://orcid.org/0009-0006-2335-3302>

Дмитрий И. Шабанов / Dmitry I. Shabanov <https://orcid.org/0009-0008-6144-9174>

Евгения А. Медведева / Evgeniya A. Medvedeva <https://orcid.org/0009-0008-3208-9704>

Нухкади И. Рабазанов / Nukhkadi I. Rabazanov <https://orcid.org/0000-0001-7664-6308>

Евгения А. Сокольская / Evgeniya A. Sokolskaya <https://orcid.org/0009-0002-5430-1557>

Original article / Оригинальная статья

УДК 504.4.054

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-18



Ecological condition of marine waters in the area of dredging operations of the kashagan field, Kazakhstan

Assylbek Sh. Kanbetov, Dauren K. Kulbatyrov, Olympiada Sh. Tulegenova,
Yessengali G. Gilazhov, Ayauzhan K. Shakhmanova and Ainagul A. Abilgazyieva

Safi Utebayev Atyrau Oil and Gas University, Atyrau, Kazakhstan

Principal contact

Dauren K. Kulbatyrov, Doctoral student, Safi Utebaev Atyrau University of Oil and Gas; 45a Baimukhanova St, Atyrau, Kazakhstan 060027
Tel. +77016264308

Email dkkd@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9463-149X>

How to cite this article

Kanbetov A.Sh., Kulbatyrov D.K., Tulegenova O.Sh., Gilazhov Y.G., Shakhmanova A.K., Abilgazyieva A.A. Ecological condition of marine waters in the area of dredging operations of the Kashagan field, Kazakhstan. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(1):171-180. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-18

Received 14 November 2023

Revised 25 December 2023

Accepted 15 January 2024

Abstract

To determine the hydrophysical and hydrochemical parameters of sea water and their changes during dredging works in the north-eastern part of the Caspian Sea along the Western Approach Route and near/inside block D, islands EPC-2, EPC-3, EPC-4 and island A of the Kashagan field.

Measurement of hydrophysical parameters: salinity, temperature, turbidity, dissolved oxygen concentration, electrical conductivity, pH of seawater was carried out using a portable multi-parameter analyser "Horiba-U53" directly in the water column. Water transparency was determined using a Secchi disc. The depth of the water layer was determined using a sounder. Hydrochemical investigations were carried out for seven parameters, with all components sampled in the near-surface and benthic horizons. Water samples were taken using probes or bathometers: BM-48, GR-18 or their analogues.

Hydrochemical analyses of seawater samples for: biogens (NO_2 , NO_3 , NH_4 , N_{total} , and P_{total}), synthetic surfactants, phenols, hydrocarbons including polyaromatic hydrocarbons (PAHS), heavy metals, chemical oxygen demand (COD) and biochemical oxygen demand (BOD_5). These were carried out in laboratory conditions using analytical equipment according to scientifically accepted methods.

The data obtained as a result of the research allow us to draw the following conclusion: changes in the amount of suspended sediment in sea water lead to changes in physical and chemical properties of water (increase in turbidity, disturbance of sediment composition and properties), changes in biotopes, deterioration of oxygen regime, optical properties of water and temperature regime.

Key Words

Kashagan field, hydrophysical and hydrochemical parameters, seawater, dredging, Caspian Sea.

Экологическое состояние морских вод в районе дноуглубительных работ месторождения «Кашаган»

Асылбек Ш. Канбетов, Даурен К. Кулбатыров, Олимпиада Ш. Тулегенова,
Есенгали Г. Гиладжов, Аяужан К. Шахманова, Айнагуль А. Абилгазиева

Атырауский университет нефти и газа им. С. Утебаева, Атырау, Казахстан

Контактное лицо

Даурен К. Кулбатыров, докторант, НАО «Атырауский университет нефти и газа им. С. Утебаева»; 060027 Казахстан, г. Атырау, ул. Баймуханова, 45а. Тел. +77016264308

Email dkkd@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9463-149X>

Формат цитирования

Канбетов А.Ш., Кулбатыров Д.К., Тулегенова О.Ш., Гиладжов Е.Г., Шахманова А.К., Абилгазиева А.А. Экологическое состояние морских вод в районе дноуглубительных работ месторождения «Кашаган» // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 1. С. 171-180. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-18

Получена 14 ноября 2023 г.

Прошла рецензирование 25 декабря 2023 г.

Принята 15 января 2024 г.

Резюме

Целью работы является контроль за гидрофизическими и гидрохимическими параметрами морской воды, их изменением в ходе дноуглубительных работ в северо-восточной части Каспийского моря вдоль Западного подходного пути и вблизи/внутри блока D, островов ЕРС-2, ЕРС-3, ЕРС-4 и острова А месторождения «Кашаган».

Измерение гидрофизических параметров: соленость, температура, мутность, концентрация растворенного кислорода, электропроводность, рН морской воды выполнялась с помощью портативного многопараметрического анализатора типа «Horiba-U53» непосредственно в толще воды. Определение прозрачности воды проводилась с помощью диска Секки. Глубина водного слоя определялась с помощью лота. Гидрохимические исследования проводились по семи параметрам, при этом пробы по всем компонентам отбирались в приповерхностном и придонном горизонтах. Отбор проб воды производился с помощью зондов или батометров: БМ-48, ГР-18 или их аналогов.

Гидрохимические исследования проб морской воды на содержание: биогенов (NO_2 , NO_3 , NH_4 , $\text{N}_{\text{общ}}$ и $\text{P}_{\text{общ}}$), синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), фенолов, углеводов включая полиароматические углеводороды (ПАУ), тяжелых металлов, химическое потребление кислорода (ХПК) и биохимическое потребление кислорода (БПК₅) проводились в лабораторных условиях на аналитическом оборудовании, согласно аккредитованных методов. Данные, полученные в результате исследований, позволяют сделать следующий вывод: изменение количества взвеси в воде моря приводит к изменению физических и химических свойств воды (повышение мутности, нарушение состава и свойств осадков), изменению биотопов, ухудшению кислородного режима, оптических свойств воды, температурного режима.

Ключевые слова

Месторождение «Кашаган», гидрофизические и гидрохимические параметры, морская вода, дноуглубительные работы, Каспийское море.

INTRODUCTION

The Kashagan field, one of the largest and most complex offshore fields discovered to date, is a single hydrocarbon deposit with geological reserves estimated at 4.65 billion tonnes (36.6 billion barrels) and covers an area of approximately 75 km x 45 km. The field is located in the shelf zone of the north-eastern part of the Kazakhstan sector of the Caspian Sea, 75 kilometres south of the city of Atyrau. It is administratively part of the Atyrau region of the Republic of Kazakhstan.

In recent years, the average level of the Caspian Sea has been declining. Recent forecasts indicate that this trend is likely to continue [1–5]. The North Caspian Operating Company (NCO) conducted dredging works within the framework of the project "Development of Kashagan field facilities. Marine Complex. Marine Shipping Canals (without estimate documentation)", State Expertise

Opinion #15-0081/21 dated 26.03.2021 in order to ensure uninterrupted marine logistics operations and emergency evacuation. The total length of dredging works is 56 kilometres.

Dredging was carried out outside the Akzhaik State Reserve protected area, a water protection zone and restricted use zone to ensure normal fish spawning and rafting of juvenile fish from 1 April to 15 July, fishing areas, bird nesting and seal concentration areas (Article 269 of the Ecological Code) [6] (Fig. 1).

The purpose of this work is to determine the state of seawater of the Caspian Sea during dredging operations.

The surveys were carried out concurrently with cutter suction dredging in the northern part of the Caspian Sea along the Western Approach Route and near/inside Block D, islands EPC-2, EPC-3, EPC-4 and Island A (Fig. 2).

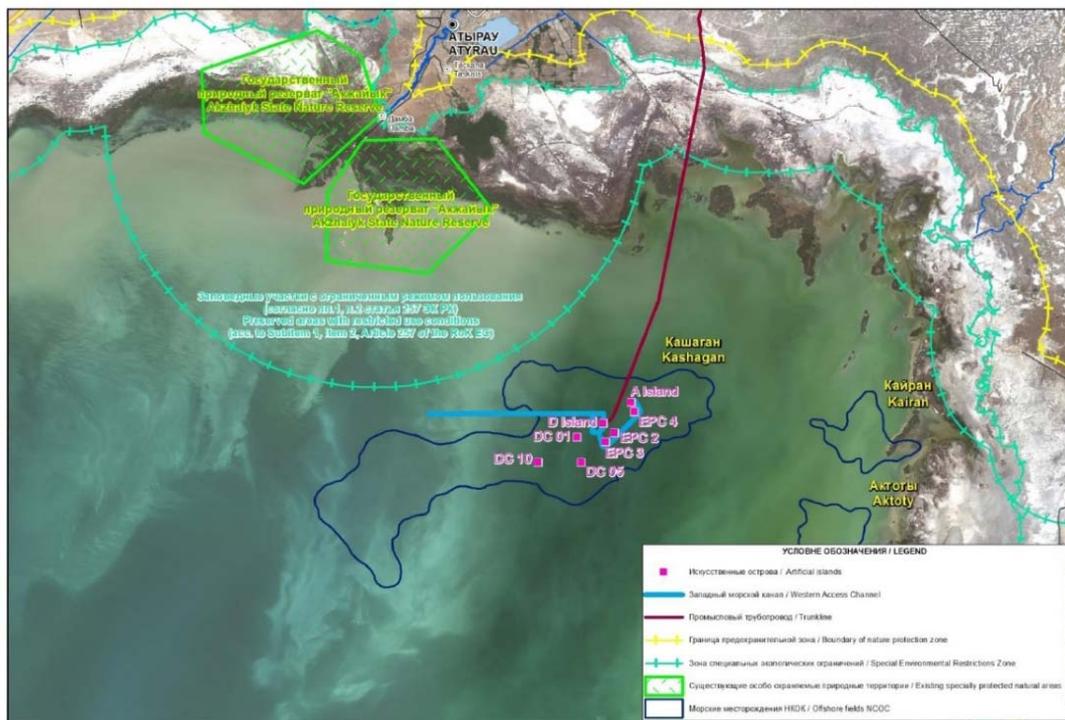


Figure 1. Dredging site
Рисунок 1. Участок проведения дноуглубительных работ



Figure 2. Map of canal and spoil heap locations
Рисунок 2. Ситуационная карта расположения каналов и отвалов

MATERIAL AND METHODS

Controlled parameters and frequency of observations during dredging are presented in Table 1.

At the work sites, where the sea depths are more than 3 m, studies on hydrological, hydrophysical and hydrochemical indicators were carried out in the surface

and bottom horizons. At depths of less than 3 m all studies were carried out at the 1st horizon (1/2 of the total depth).

Monitoring of seawater quality includes hydrophysical and hydrochemical types of observations and research.

Table 1. Parameters and frequency of seawater monitoring

Таблица 1. Контролируемые параметры и периодичность мониторинга морской воды

Monitoring stations Станции мониторинга	Controlled parameters Контролируемые параметры	MAC (mg/dm) ³ ПДК (мг/дм) ³	Measurement intervals Интервалы измерения	Method of analysis Метод анализа
KCR-1- KCR-11 3 control stations KCR-1- KCR-11 3 контрольные станции	BOD ₅ БПК ₅	3.0	By stage По этапам	Electrometry Электрометрия
	nitrogen ammonium азот аммония	0.5		Spectrophotometry Спектрофотометрия
	nitrate nitrogen нитратный азот	40.0		Spectrophotometry Спектрофотометрия
	nitrate nitrogen нитритный азот	0.08		Spectrophotometry Спектрофотометрия
	nitrate nitrogen общий азот	-		Spectrophotometry Спектрофотометрия
	total phosphorus общий фосфор	-		Spectrophotometry Спектрофотометрия
	COD ХПК	0.05		Chromatography Хроматография
	PAHS ПАУ	-		Chromatography Хроматография
	synthetic surfactants (anionic surfactants) синтетические поверхностно-активные вещества (анионные поверхностно-активные вещества)	0.1		Spectrophotometry Спектрофотометрия
	Phenols фенолы	-		Spectrophotometry Спектрофотометрия
	heavy metals: тяжелые металлы:			Atomic emission spectrometry Атомно-эмиссионная спектрометрия
	Al	-		
	As	0.1		
	Ba	2.0		
	Cd	0.01		
	Cr	-		
	Cz	0.005		
	Fe	0.05		
	Hg	0.0001		
	Ni	0.01		
Pb	0.01			
V	0.001			
Zn	0.05			

Measurements of hydrophysical parameters: salinity, temperature, turbidity, dissolved oxygen concentration, electrical conductivity, and pH of seawater were performed using a portable multi-parameter analyser of the "Horiba-U53" type (or an oceanic measuring device "Sea Guard RCM") directly in the water column. Water transparency was determined using a Secchi disc ø300 mm with a reference accuracy of 0.05 m. The depth of the water layer was determined using a sounder.

The zones of increased turbidity distribution form "plumes". The distribution of turbidity plumes was

determined by the granulometric composition of the dredged bottom soil, dredging and disposal technology, hydrological and hydrodynamic conditions, etc.

Measurements were taken in the vicinity of four cutter suction dredgers and one mechanical dredger. In each case, 3 samples were taken at distances of approximately: 300, 500 (along the slurry pipeline) and 1000 (near the slurry discharge point) metres from the dredgers.

A platform with stationary automatic equipment "YSO EXO 2" and current profiler "ADTP Nortek" was

installed at the conditional background station beyond the turbulence boundary from the main axis of the channel at a distance of more than 2 km.

Hydrochemical studies were carried out for seven parameters, with all components sampled in the near-surface and benthic horizons. In hydrochemical studies of seawater, sampling was carried out in accordance with the provisions of relevant standards [7–9]. Water samples were taken using probes or bathometers: BM-48, GR-18 or their analogues. Before each sampling instruments were completely cleaned. Further, depending on the type of analysis, the sample was spread in special containers made of borosilicate glass or PCV in necessary volume for analytical work. Further samples were filtered and preserved according to accepted methods. Storage and transport of samples were carried out in accordance with the provisions of the relevant standard [10].

Hydrochemical analyses of seawater samples for: biogens (NO_2 , NO_3 , NH_4 , N_{total} , and P_{total}), synthetic surfactants, phenols, hydrocarbons including polyaromatic hydrocarbons (PAHs), heavy metals, COD and BOD_5 were carried out in laboratory conditions using analytical equipment according to scientifically accepted methods.

RESULTS AND DISCUSSION

The characteristics of the current state of physical and chemical parameters of seawater in the area of dredging of the Offshore Complex of the Kashagan field, has been determined based on the materials of reports conducted in the area of channels in the spring, summer and autumn periods 2021–2022 [11–12].

A schematic of the monitoring stations in the area is shown in Figure 3.

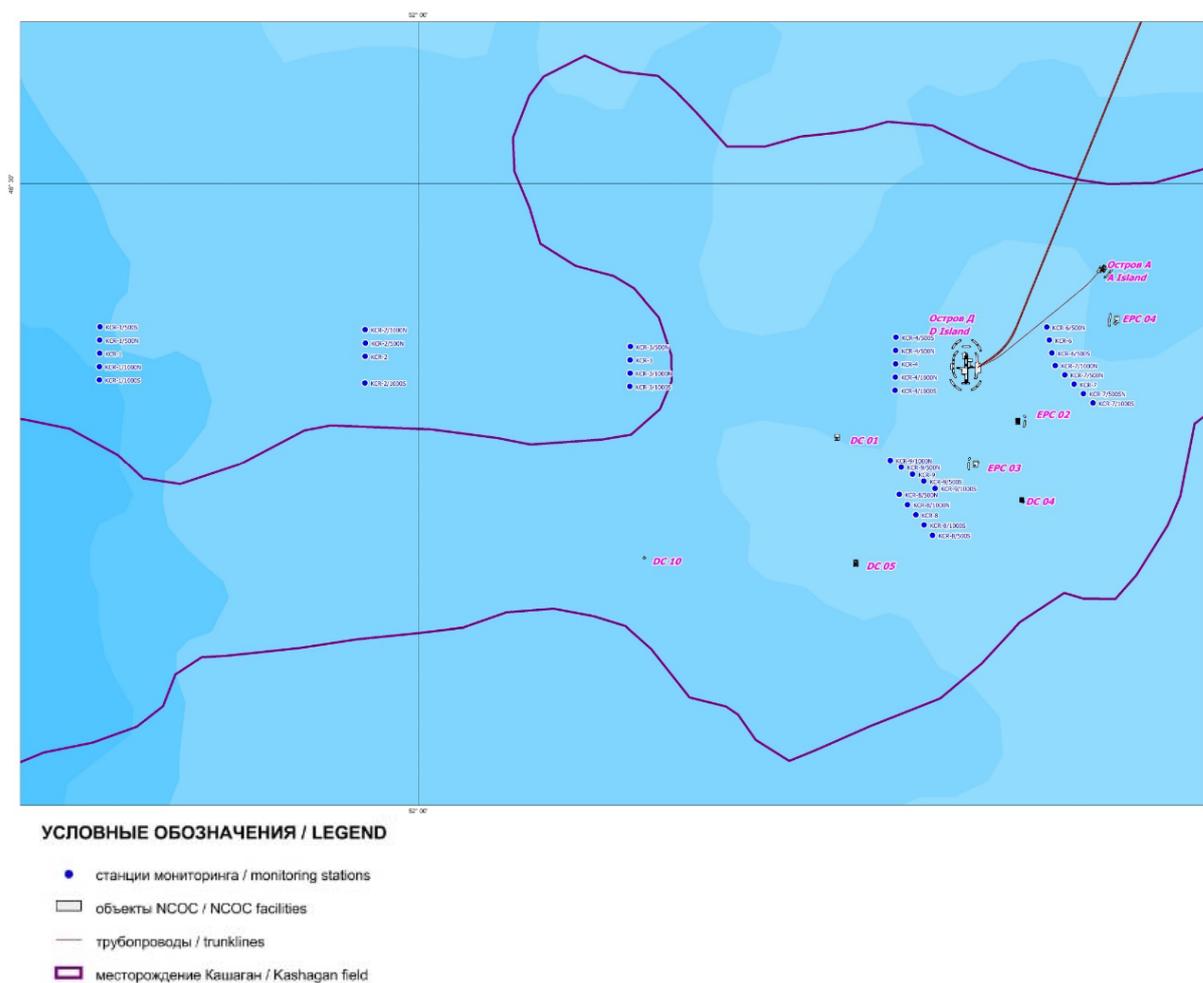


Figure 3. Impact monitoring stations in the West Canal area

Рисунок 3. Станции мониторинга воздействия в районе западного канала

In 2021–2022, the values of pH, salinity, turbidity, dissolved oxygen in water determined in situ in the study water area in the vicinity of the projected canal mainly reflected seasonal fluctuations in meteorological conditions and were at the level of multiyear averages.

Water temperatures in 2021 at the stations ranged from: 15.7°C–16.8 °C in spring, 22.3 °C–24.9 °C in summer, and 13.9°C–18.4 °C in autumn. In 2022, water temperatures ranged from: 6.5–11.6°C in spring, 24.9–28.2 °C in summer, and 17.5–21 °C in autumn.

pH values are mainly determined by the state of carbonate equilibrium throughout the North Caspian, and fluctuate in the alkaline range. In 2021, a minimum pH concentration of 7.20 was recorded in spring and a maximum of 9.89 in autumn. In 2022, pH values in the study area ranged from 8.11–8.63 in spring, 8.21–8.44 in summer and 8.04–8.18 in autumn.

Mean salinity values in 2021 ranged from 8.35 to 9.9 ‰ and in 2022 from 7.5 to 12.01 ‰.

Average dissolved oxygen values in 2021 decreased from spring to summer (from 12.73 mg/dm³ to

7.06 g/dm³) and increased to 9.2 g/dm³ by autumn. In 2022, dissolved oxygen ranged from 9.03 to 11.73 g/dm³, 6.5 to 7.43 g/dm³ in spring and 7.44 to 9.91 g/dm³ in autumn.

The formation of zones ("plumes") of increased turbidity causes a natural decrease in water clarity. Immediately in the area of dredging or disposal, transparency is minimal (may be less than 10 cm). The extent and duration of the decrease in transparency is highly dependent on the particle size distribution of the transported soils/sediments (inversely dependent on the coarseness of the predominant fractions). The effect is maximally pronounced and prolonged when fine (clayey) fractions predominate.

Turbidity values in 2021 ranged from: spring – 65 – 81 NTU; summer – 72 – 193 NTU; autumn – 33.3 – 293 NTU units. In 2022, turbidity values ranged from: spring – 43 – 323 NTU; summer – 2 – 141 NTU; autumn – 13 – 67 NTU units. The maximum values can be attributed to the influence of storm waves.

Turbidity in the near-bottom water layer during dredging operations, as at the background stations, was higher than in the surface layer. The turbidity value from dredging consistently decreased from the dredger to the slurry discharge site which was favoured by the use of cooking pot technology during slurry discharge. According to the Information Bulletin on the state of the environment in the Republic of Kazakhstan (2021–2022), the water quality of the Northern Caspian Sea is not normalized (5th class according to the Unified System of Classification of Water Quality in Water Bodies) [13].

In 2021, the maximum BOD values₅ did not exceed 1.0 mgO₂/dm³ in summer and 1.5 mgO₂/dm³ in autumn. The average BOD in 2022 was 1.38 mgO₂/dm³ in spring, while in summer and autumn were close at 0.88 mgO₂/dm³ and 0.09 mgO₂/dm³, respectively (Fig. 4).

COD content during this period varied from below detection limits (<10 mgO₂/dm³) to 195 mgO₂/dm³. In summer and autumn 2022 the mean COD contents were close at 0.88 mgO₂/dm³ and 0.094 mgO₂/dm³ respectively (Fig. 5).

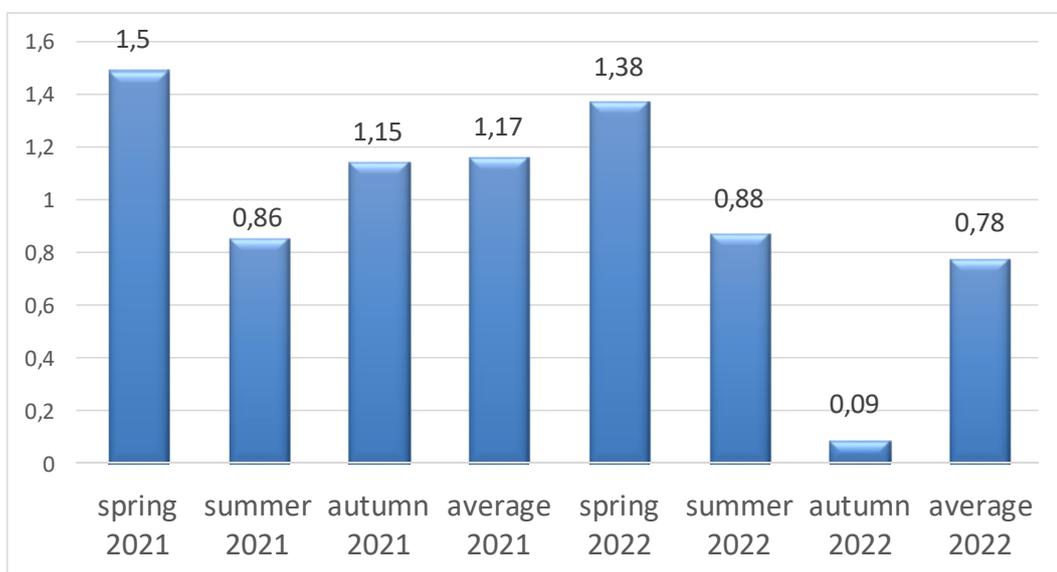


Figure 4. Average BOD₅ contents (mgO₂/dm³) in water of the canal water area in 2021–2022

Рисунок 4. Средние содержания БПК₅ (mgO₂/dm³) в воде акватории канала в 2021–2022 гг.

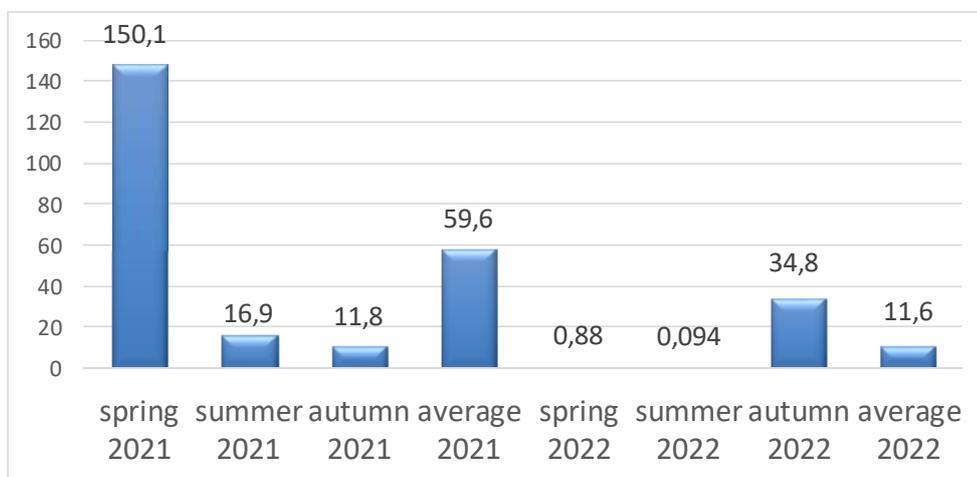


Figure 5. Average COD content (mgO₂/dm³) in water of the canal water area in 2021–2022.

Рисунок 5. Средние содержания ХПК (mgO₂/dm³) в воде акватории канала в 2021–2022 гг.

During the spring, summer and autumn seasons of 2021–2022, concentrations of nitrogen group nutrients (ammonium nitrogen, nitrite nitrogen, nitrate nitrogen and total nitrogen) and phosphorus were universally below the detection limit of the analytical methods.

In 2021, hydrocarbon concentrations were everywhere below the detection limit of the analytical method ($<0.02 \text{ mg/dm}^3$), except for a single case in autumn at station KCR-4/500S (0.10 mg/dm^3). In the spring and summer of 2022, hydrocarbon concentrations were mostly below the sensitivity threshold of the method of analysis. In autumn in 2022, hydrocarbon concentrations ranged from 0.44 mg/dm^3 , with an average of 0.229 mg/dm^3 .

During all study periods 2021–2022, phenolic concentrations ranged from below the detection limits of the method of analysis (<0.005 – $<0.0005 \text{ mg/dm}^3$).

Synthetic surfactants concentrations in the study area from 2021–2022 ranged from "below detection limits" except in autumn 2022, when they ranged from 0.025 to 0.07 mg/dm^3 , with an average of 0.048 mg/dm^3 .

During the observation period (2021–2022) the contents of aluminium, arsenic, barium, cadmium, chromium, copper, iron, nickel, mercury, lead, vanadium and zinc were monitored in the sea water. The average concentrations of heavy metals detected in the study area for the specified period are given in Table 2.

Table 2. Mean, maximum and minimum values of heavy metal concentrations in seawater in the study area in 2021–2022

Таблица 2. Средние, максимальные и минимальные значения концентраций тяжелых металлов в морской воде на исследованном участке в 2021–2022 гг.

Season Сезон	Significa nce Значе ние	Metals (mg/dm^3) / Металлы (мг/дм^3)											
		As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Ni	Pb	V	Zn	Al
Spring 2021 Весна 2021	Min. Мин.	-	-	-	-	0,0156	-	-	-	-	0,00137	-	-
	Max. Макс.	-	-	-	-	0,0147	-	-	-	-	0,00135	-	-
	Average Среднее	$<0,0003$	$<0,007$	$<0,00003$	$<0,0003$	0,0151	$<0,020$	$<0,00003$	$<0,0003$	$<0,0003$	0,00136	$<0,003$	$<0,007$
	Min. Мин.	-	-	-	-	0,0136	-	-	-	-	0,00191	-	-
Summer 2021 Лето 2021	Max. Макс.	-	-	-	-	0,0182	-	-	-	-	0,00259	-	-
	Average Среднее	$<0,0003$	$<0,007$	$<0,00003$	$<0,0003$	0,01484	$<0,02$	$<0,00003$	$<0,0003$	$<0,0003$	0,00224	$<0,003$	$<0,007$
	Min. Мин.	-	-	-	-	0,0178	-	-	-	-	0,00198	-	-
	Max. Макс.	-	-	-	-	0,0194	-	-	-	-	0,00247	-	-
Autumn 2021 Осень 2021	Average Среднее	$<0,0003$	$<0,007$	$<0,00003$	$<0,0003$	0,0185	$<0,02$	$<0,00003$	$<0,0003$	$<0,0003$	0,00225	$<0,003$	$<0,007$
	Average Средняя 2021	$<0,0003$	$<0,007$	$<0,00003$	$<0,0003$	0,0161	$<0,02$	$<0,00003$	$<0,0003$	$<0,0003$	0,00195	$<0,003$	$<0,007$
	Min. Мин.	-	-	-	-	$<0,0003$	-	-	-	-	-	-	-
	Max. Макс.	-	-	-	-	0,012	-	-	-	-	-	-	-
Spring 2022 Весна 2022	Average Среднее	$<0,001$	$<0,02$	$<0,0001$	$<0,001$	0,0076	$<0,1$	$<0,0001$	$<0,001$	$<0,001$	$<0,001$	$<0,01$	$<0,02$
	Min. Мин.	-	-	-	-	0,0123	-	-	-	-	-	-	-
	Max. Макс.	-	-	-	-	0,0185	-	-	-	-	-	-	-
	Average Среднее	$<0,001$	$<0,02$	$<0,0001$	$<0,001$	0,0155	$<0,100$	$<0,0001$	$<0,001$	$<0,001$	$<0,001$	$<0,01$	$<0,02$
Summer 2022 Лето 2022	Min. Мин.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Max. Макс.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Average Среднее	$<0,005$	$<0,025$	$<0,0001$	$<0,005$	$<0,0005$	$<0,01$	$<0,00001$	$<0,005$	$<0,002$	$<0,001$	$<0,1$	$<0,02$
	Average Среднее 2022	$<0,005$	$<0,025$	$<0,0001$	$<0,005$	$<0,0005$	0,0077	$<0,00001$	$<0,005$	$<0,002$	$<0,01$	$<0,1$	$<0,02$

Over the study period, in all seasons, concentrations of aluminium, arsenic, barium, cadmium, chromium, iron, nickel, mercury, lead and zinc were below the detection limits of the analytical methods. Only copper was detected at significant concentrations in 2021 between 0.0149 mg/dm³ and 0.0186 mg/dm³, in the spring and summer of 2022 between 0.0109 and 0.0185 mg/dm³. In

autumn 2022, copper concentrations were below the detection limit of the method of analysis.

In general, the survey area is characterised by background copper pollution due to natural conditions.

The dynamics of copper (MAC 0.005 mg/dm³) and vanadium (MAC 0.001 mg/dm³) content for the mentioned period is shown in Figures 6, 7.

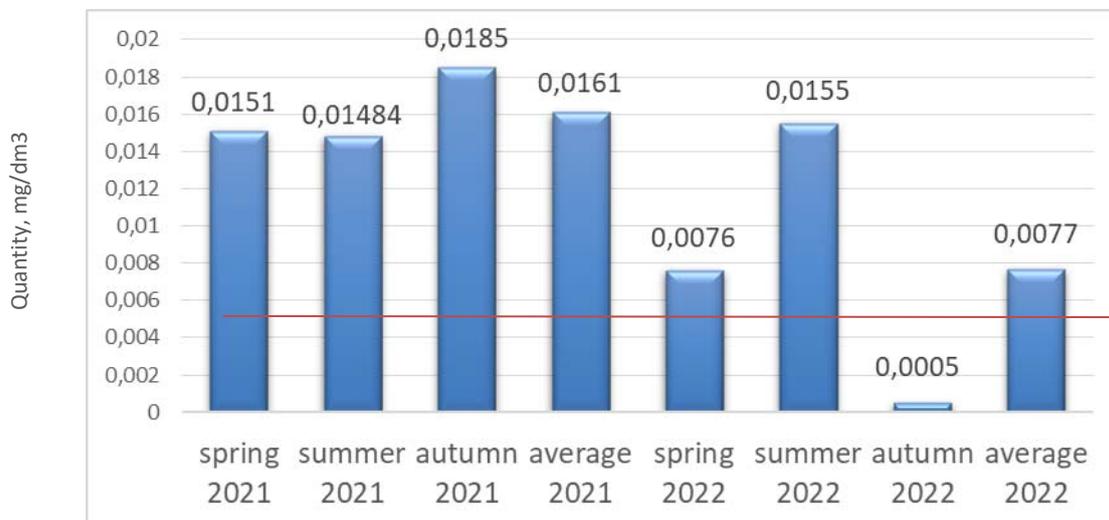


Figure 6. Average copper content in water of the canal water area in 201–2022

Рисунок 6. Средние содержания меди в воде акватории канала в 201–2022 гг.

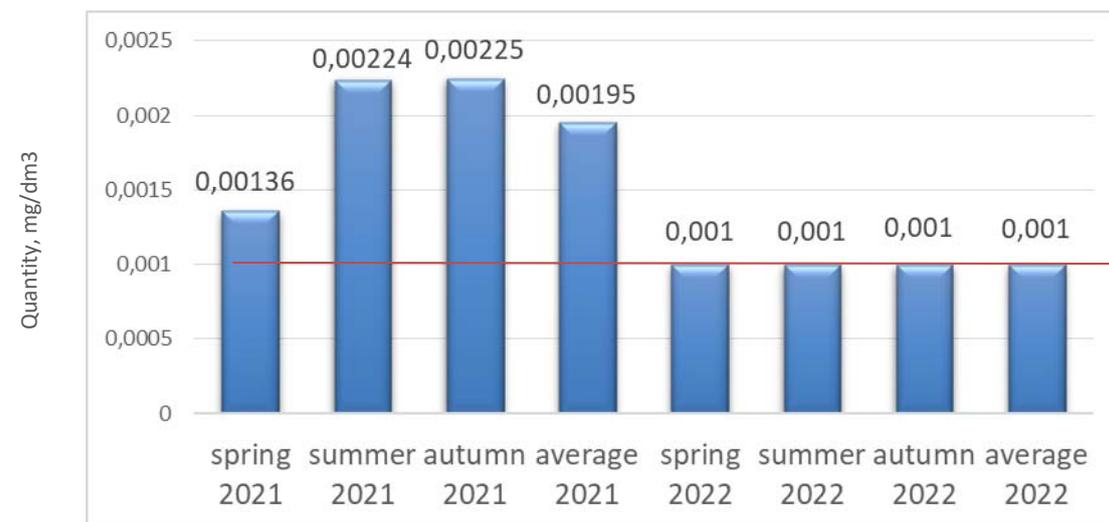


Figure 7. Average vanadium content in water of the canal water area in 201–2022

Рисунок 7. Средние содержания ванадия в воде акватории канала в 201–2022 гг.

CONCLUSION

Under natural conditions, it is in the coastal and shelf zone of the sea that the most intensive processes of sediment redistribution between the bottom and the water column occur. Changes in bottom relief during dredging and storage of bottom soil lead to more or less pronounced changes in the hydrodynamic regime, redistribution of currents, changes in water quality and chemical composition of the bottom biotope.

Changes in the amount of suspended sediment in sea water lead to changes in physical and chemical properties of water (increase in turbidity, disturbance of sediment composition and properties), changes in biotopes, sorption of organics, deterioration of oxygen regime, optical properties of water and temperature regime. These can cause reduction of photosynthesis

intensity, damage to filtration organs, behavioural disorders, stresses, anoxia, death, deterioration of feeding conditions, deterioration of reproduction conditions, structural and functional rearrangements of populations and communities.

REFERENCES

- Huseynova S.A., Abdusamadov A.S. Forecast of the CaspianSea level dynamics and its consequences for coastal territories. *South of Russia: ecology, development*, 2015, vol. 10, no. 4, pp. 119–126. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2015-4-119-126> (In Russian)
- Nesterov E.S. *Vodnyi balans i kolebaniya urovnya Kaspiskogo morya. Modelirovanie i prognozirovanie.*

[Water balance and Caspian Sea level fluctuations. Modelling and Forecasting]. Moscow, Triad Publ., 2016, 378 p. (In Russian)

3. Tabelinkova A.C. [Caspian Sea level fluctuation: causes, consequences and research methods]. *Evrasiiskii Soyuz Uchenykh (ESU)*. 2019, no. 4(61), pp. 34–40. (In Russian) Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/kolebanie-urovnnya-kaspiyskogo-morya-prichiny-posledstviya-i-metody-issledovaniya/viewer>

4. Kenzhegaliev A., Kanbetov A., Kulbatyrov D., Shakhmanova A., Abilgazyeva A. Fluctuation in the level of the Caspian sea and its consequences. *E3S Web of Conferences, International Symposium on Sustainable Energy and Power Engineering, (SUSE-2021)*, 2021, vol. 288, article id: 01063. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128801064>

5. Abuzyarov Z.K., Nesterov E.S. Some features of spatial and temporal variability of the Caspian Sea level. In: *Trudy Gidromettsentra Rossii* [Proceedings of the Hydrometeorological Centre of Russia]. 2011, iss. 345, pp. 5–23.

6. Ecological code of the Republic of Kazakhstan dated January 2, 2021 No.400-VI LRK. <https://adilet.zan.kz/eng/docs/K210000400> (accessed 23.09.2023)

7. ISO 5667–1:2006 Water quality – Sampling – Guidance on the design of sampling programmes and sampling techniques. P. 1. (In Russian) Available at: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:5667:-1:ed-2:v1:ru> (accessed 23.09.2023)

8. ISO 5667–9:2013 Water quality. Sampling. Guidance on sampling from marine waters, IDT. P. 9. (In Russian) Available at: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=35831830 (accessed 25.09.2023)

9. GOST 17.1.5.04–81 Nature protection. Hydrosphere. Apparatus and mechanisms for selection, initial treatment and stering samples of natural waters. (In Russian) Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294835/4294835624.pdf> (accessed 07.10.2023)

10. ISO 5667–3:2012 Water quality. Sampling. Preservation and handling of water samples, IDT. P. 3 (In Russian) Available at: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31724434 (accessed 10.10.2023)

11. *Fonovye ekologicheskie issledovaniya po projektu «Dnoуглубление потенциального судоходного пути для движения судов от Уральской борозды до острова Д и вокруг сущестующих островов на месторождении Кашаган», 2020–2021* [NCOC Seasonal reports Background environmental studies for the project «Dredging of a potential navigation route for vessel traffic from the Ural furrow to D-island and around existing islands in the Kashagan field», 2020–2021]. (In Russian) Available at: <https://www.ncoc.kz> (accessed 15.10.2023)

12. *Sezonnye otchety «Monitoring vozdeistviya na morskuyu sredu v kazakhstanskom sektore Kaspiyskogo morya» (vesna, leto, osen')*, 2020–2021 [Seasonal reports «Marine Impact Monitoring in the Kazakhstan Sector of the Caspian Sea» (spring, summer, autumn), 2020–2021]. (In Russian) Available at: <https://www.ncoc.kz> (In Russian) (accessed 15.10.2023)

13. *Informatsionnyi byulleten' o sostoyanii okruzhayushchei sredy kazakhstanskoi chasti Kaspiyskogo morya na 2021–2022* (Ministerstvo ekologii, geologii i prirodnykh resursov

Respubliki Kazakhstan, respublikanskoe gosudarstvennoe predpriyatie «Kazgidromet», Departament ekologicheskogo monitoringa) [Information bulletin on the state of the environment of the Kazakhstan part of the Caspian Sea for 2021–2022 (of the Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan, republican state enterprise «Kazhydromet», Department of Environmental Monitoring)]. (In Russian) Available at: <https://www.ncoc.kz> (accessed 15.10.2023)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Гусейнова С.А., Абдусаматов А.С. Прогноз динамики уровня Каспийского моря и ее последствия для прибрежных территорий // Юг России: экология, развитие. 2015. Т. 10. N 4. С. 119–126. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2015-4-119-126>
- Нестеров Е.С. Водный баланс и колебания уровня Каспийского моря. Моделирование и прогнозирование. Москва: Триада, 2016. 378 с.
- Табелинкова А.С. Колебания уровня Каспийского моря: причины, последствия и методы исследования // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). 2019. N 4(61). С. 34–40. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kolebanie-urovnnya-kaspiyskogo-morya-prichiny-posledstviya-i-metody-issledovaniya/viewer>
- Kenzhegaliev A., Kanbetov A., Kulbatyrov D., Shakhmanova A., Abilgazyeva A. Fluctuation in the level of the Caspian sea and its consequences // E3S Web of Conferences, International Symposium on Sustainable Energy and Power Engineering (SUSE-2021). 2021. V. 288. Article id: 01063. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128801064>
- Абузыаров З.К., Нестеров Е.С. Некоторые особенности пространственно-временной изменчивости уровня Каспийского моря // . 2011. Вып. 345. С. 5–23.
- Экологический кодекс Республики Казахстан от 2 января 2021 года № 400-VI ЗРК. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K210000400> (дата обращения: 23.09.2023)
- ISO 5667–1:2006 Качество воды. Отбор проб. Руководство по составлению программ и методик отбора проб. Ч. 1. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:5667:-1:ed-2:v1:en> (дата обращения: 23.09.2023)
- СТ РК ISO 5667–9–2013 Качество воды. Отбор проб. Руководство по отбору проб морской воды. Ч. 9. URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=35831830 (дата обращения: 25.09.2023)
- ГОСТ 17.1.5.04–81 Охрана природы. Гидросфера. Приборы и устройства для отбора, первичной обработки и хранения проб природных вод. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294835/4294835624.pdf> (дата обращения: 07.10.2023)
- СТ РК ISO 5667–3–2017 Качество воды. Отбор проб. Консервация и обработка проб воды. Ч. 3. URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31724434 (дата обращения: 10.10.2023)
- Фоновые экологические исследования по проекту «Дноуглубление потенциального судоходного пути для движения судов от Уральской борозды до острова Д и вокруг существующих островов на месторождении Кашаган», 2020–2021. URL: <https://www.ncoc.kz> (дата обращения: 15.10.2023)
- Сезонные отчеты «Мониторинг воздействия на морскую среду в казахстанском секторе Каспийского

моря» (весна, лето, осень), 2020–2021. URL: <https://www.ncoc.kz> (дата обращения: 15.10.2023)
13. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды казахстанской части Каспийского моря на 2021–2022 (Министерство экологии, геологии и

природных ресурсов Республики Казахстан, республиканское государственное предприятие «Казгидромет», Департамент экологического мониторинга). URL: <https://www.ncoc.kz> (дата обращения: 15.10.2023)

AUTHOR CONTRIBUTIONS

All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ORCID

Assylbek Sh. Kanbetov / Асылбек Ш. Канбетов <https://orcid.org/0000-0002-9990-0230>

Dauren K. Kulbatyrov / Даурен К. Кулбатыров <https://orcid.org/0000-0002-9463-149X>

Olympiada Sh. Tulegenova / Олимпиада Ш. Тулегенова <https://orcid.org/0000-0002-2477-9288>

Yessengali G. Gilazhov / Есенгали Г. Гиладжов <https://orcid.org/0000-0003-3046-4845>

Ayauzhan K. Shakhmanova / Аяужан К. Шахманова <https://orcid.org/0000-0003-1082-3038>

Ainagul A. Abilgazyeva / Айнагуль А. Абилгазиева <https://orcid.org/0000-0001-6914-1491>

Оригинальная статья / Original article

УДК 556.3+517.98

DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-19



Управление рисками чрезвычайных ситуаций, обусловленных подтоплением застроенных горных территорий

Елена В. Арефьева, Ирина Ю. Олтян, Юрий В. Прус

Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций (Федеральный центр науки и высоких технологий) (ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)), Москва, Россия

Контактное лицо

Елена В. Арефьева, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций (Федеральный центр науки и высоких технологий) (ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)); 121352 Россия, г. Москва, ул. Давыдовская, 7. Тел. +79166230708 Email elaref@mail.ru ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6037-9663>

Формат цитирования

Арефьева Е.В., Олтян И.Ю., Прус Ю.В. Управление рисками чрезвычайных ситуаций, обусловленных подтоплением застроенных горных территорий // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 1. С. 181-188. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-19

Получена 22 ноября 2023 г.

Прошла рецензирование 14 января 2024 г.

Принята 15 января 2024 г.

Резюме

Цель настоящей исследовательской работы – разработка научных подходов к решению проблемы повышения устойчивости урбанизированных территорий за счет гибкого регулирования режима грунтовых вод. Выработка управленческого решения по гибкому регулированию выполняется на основе применения методов решения некорректных задач, моделирования процессов геофильтрации.

Материалами для проведения исследования послужили данные исследования опасных гидрогеологических процессов, систематизированные, в том числе, по результатам мониторинга чрезвычайных ситуаций природного характера во ВНИИ ГОЧС (ФЦ). Предложенный авторами подход основан на применении комплекса методов, включающего методы: системного анализа, прогнозирования, численного моделирования с последующей выработкой оптимального управленческого решения на муниципальном уровне РСЧС.

В результате проведенного в работе численного моделирования в рамках реализации предложенного подхода в имитационном режиме определяются варианты дренажных систем и режим их работы. Это позволяет повысить уровень экологической безопасности исторически сложившихся застроенных, в том числе горных территорий.

В коллективной авторской статье представлен новый подход управления риском чрезвычайных ситуаций при подтоплении зданий и сооружений на застроенных горных территориях, в том числе исторических территориях. На таких территориях обводненный грунт сохраняет культурный слой, что предопределяет необходимость реализации гибкого регулирования режима грунтовых вод. Результаты исследования используются при выполнении научно-исследовательской работы ВНИИ ГОЧС (ФЦ) по исследованию опасных гидрогеологических процессов и их влияния на окружающую среду, безопасность жизнедеятельности, устойчивость функционирования объектов экономики, мониторингу и прогнозированию природных чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова

Горные территории, подтопление, оптимизационный подход, уравнение Буссинеска, исторические территории, памятники архитектуры, экологическая безопасность.

Risk management of emergency situations caused by flooding of built-up mountain areas

Elena V. Arefyeva, Irina Yu. Oltyan and Yuri V. Prus

All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergency Situations (Federal Center for Science and High Technologies) (Federal State Budgetary Institution of the State Research Institute of Civil Defense (FC)), Moscow, Russia

Principal contact

Elena V. Arefyeva, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor & Chief Researcher, All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergency Situations (Federal Center for Science and High Technologies) (Federal State Budgetary Institution of the State Research Institute of Civil Defense (FC)); 7 Davydkovskaya St, Moscow, Russia 121352. Tel. +79166230708
Email elaref@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6037-9663>

How to cite this article

Arefyeva E.V., Oltyan I.Yu., Prus Yu.V. Risk management of emergency situations caused by flooding of built-up mountain areas. *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(1):181-188. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-19

Received 22 November 2023

Revised 14 January 2024

Accepted 15 January 2024

Abstract

The purpose of this research work is to develop scientific approaches to solving the problem of increasing the sustainability of urbanised territories through flexible regulation of the groundwater regime. The development of a management solution for flexible regulation is carried out on the basis of the application of methods for solving problems of incorrectness.

Materials for the study were data from the study of dangerous hydrogeological processes, systematised, among other matters, based on the results of monitoring natural emergencies at the Research Institute for Civil Defense and Emergency Situations. The approach proposed by the authors is based on the application of a set of methods, including methods of: system analysis, forecasting, numerical modeling, followed by the development of an optimal management solution of emergency situations at the municipal level.

As a result of the numerical modeling carried out in the work, the variants of drainage systems and their operating mode are determined within the framework of the implementation of the proposed approach in the simulation mode. This makes it possible to increase the level of environmental safety of historically developed built-up areas, including mountainous ones.

The article presents a new approach to managing the risk of emergencies in case of flooding of buildings and structures in built-up mountainous territories, including historical territories. In such territories, the watered soil preserves the cultural layer, which determines the need for flexible regulation of the groundwater regime. The results of the study are used in carrying out research work of the State Research Institute of the Russian Academy of Sciences (GOChS) on the study of dangerous hydrogeological processes and their impact on the environment, life safety, stability of the functioning of economic facilities, monitoring and forecasting of natural emergencies.

Key Words

Mountain areas, flooding, optimization approach, Boussinesq equation, historical areas, architectural monuments, environmental safety.

ВВЕДЕНИЕ

В работах [1–4] отмечается, что урбанизированные горные территории Северного Кавказа подвергаются различным экзогенным процессам: оползневым, селевым, суффозионным, подтоплению. Для устойчивого развития урбанизированных горных территорий необходимо своевременно выявлять и выработать превентивные мероприятия по снижению риска реализации опасных природных процессов [5; 6]. Одним из часто встречающихся опасных процессов в городах является подтопление грунтовыми водами. Недостаточность работы ливневой канализации, утечки из водонесущих коммуникаций провоцируют, в свою очередь, процессы техногенного загрязнения территорий. Подтопление инициирует опасные природные процессы, такие как карст, оползни, суффозии, лессовые просадки, и при этом происходит снижение несущей способности грунтов, повышение сейсмической интенсивности территории и др. [7–9]. Особенно страдают от негативного влияния подземной гидросферы – исторические города и памятники архитектуры, которые не приспособлены к современным техногенным воздействиям [10]. Указанные процессы могут приводить и приводят к чрезвычайным ситуациям. Негативные воздействия грунтовых вод на здания и сооружения вызывают от 50 до 80% всех аварий и обрушений [11]. На 30 % снижается эксплуатационная надежность зданий и сооружений. Ущерб от чрезвычайных ситуаций (ЧС) в РФ при подтоплении и наведенных процессах составляет до 5,5 млрд долларов ежегодно [11].

Чрезвычайные ситуации потенциально могут возникнуть при наличии следующих условий [7]:

- существования гидрогеологической или инженерно-геологической опасности в данной местности и нахождения объекта защиты в пределах этой опасности;
- отсутствия или неудовлетворительной работы системы инженерной защиты;
- неудовлетворительного состояния конструкций объектов и сооружений.

Поскольку чрезвычайные ситуации при подтоплении вызваны, как правило, техногенными причинами, то это позволяет сделать вывод об управляемости процесса предупреждения данных чрезвычайных ситуаций [7–11], их последствий для окружающей среды [12].

Основными причинами техногенного подтопления являются утечки из водонесущих коммуникаций вследствие их значительного износа, а также наличия на застроенных территориях предприятий с «мокрым технологическим процессом», затруднения испаряемости из-за асфальтирования городских территорий и др. причин. Кроме того, большинство городов в Российской Федерации, в том числе расположенные в горной местности, относятся к историческим городам. В таких городах имеются объекты культурного наследия, которые в настоящее время испытывают вредные воздействия современной среды, на которые они не были рассчитаны. Поэтому превентивные мероприятия по снижению рисков формирования подтопления, как факторов и источников ЧС, должны носить «щадящий» характер, не допуская резких перепадов уровня грунтовых вод.

В качестве критериев гибкого «щадящего» регулирования принимаются критические и предельные уровни грунтовых вод [11]. Предельные и критические уровни для объектов и территорий определены в соответствующих нормативных документах, например, Своде правил «Инженерная защита территорий от затопления и подтопления» (СП 104.13330. 2016). Однако в случае с объектами культурного наследия нормы осушения определяются в каждом конкретном случае и зависят от материала фундамента, наличия культурного слоя в прилегающей территории. На исторических территориях было выделено 4 основных класса объектов по требованиям к осушению; это объекты, допускающие и не допускающие увлажненного состояния заглубленных конструкций и подвальных помещений, и среди этих групп – объекты, расположенные на каменном или деревянном основании [7]. Для каждого типа объектов выработаны специфические нормы осушения, в зависимости от материала оснований фундамента и допустимости увлажнения фундамента.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалами для проведения настоящего исследования послужили труды отечественных и зарубежных ученых в области устойчивого развития горных территорий [1; 2; 4–6], исследования опасных гидрологических процессов [8–11], антропогенного влияния природных процессов [13–15; 22], методов решения некорректных задач [16–18], математических методов оценки процессов, протекающих в земной поверхности [19–21; 23; 24].

Методы исследования: численное моделирование, методы решения некорректных задач, системный анализ гидрогеологической обстановки.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для выработки решений гибкого регулирования режима грунтовых вод, в т.ч., на исторических застроенных территориях, выполнено математическое моделирование, разработан программно-вычислительный комплекс.

Вычисление расчетного уровня грунтовых вод выполняется с помощью численного моделирования геофильтрации. Основным уравнением является уравнение Буссинеска [15]. Исходными данными для моделирования являются полученные распределенные поля численных значений коэффициентов уравнений (водопроницаемости, водоотдачи, инфильтрации и др.). На основе данных мониторинга опасных гидрогеологических процессов, с использованием методов интерполяции и экстраполяции составляются расчетные геофильтрационные схемы [7; 11].

Параметрами регулирования являются уровни воды в дренах, объем откачиваемой воды. Критериями оптимального управления являются: объем осушенной призмы культурного слоя, осушенная площадь заглубленных помещений. Параметры регулирования задаются в виде граничных условий уравнения геофильтрации или функции источника [7; 11].

Критерии оптимального управления формулируются в виде функционалов. Для решения задачи определения оптимального решения применяются градиентные методы. Градиент функционала опреде-

ляется через решение сопряженной задачи к прямой задаче [16–18]. Результатом вычислений в итерационном процессе является оптимальное решение, обеспечивающее минимум функционалу цели оптимизации [16; 17] и является искомым оптимальным параметром регулирования, что физически соответст-

вует выбранному положению дрены (граничное условие первого рода) или откачиваемому объему воды (граничные условия второго рода) [7].

В общем виде задачу выработки оптимального решения можно представить в виде [11; 16]:

$$\frac{\partial y(u)}{\partial t} + A(t) * y(u) - f(x, t) + u(t) \\ (x, t) \in Q; y(u) = 0, (x, t) \in \partial Q; y(x, u) = y_0(0), x \in D, \partial Q = \partial D * (0, T) \quad (1)$$

где $A(t) * y(u) = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\partial}{\partial x_i} a_{ij}(x, t) \frac{\partial y}{\partial x_j}; -$

дифференциальный оператор;
 $u(t)$ – вектор управления;

$y(t) = (y_1(t), y_2(t), \dots, y_k(t))$ – фазовая траектория;

$z(u) = C * y(u)$ – наблюдаемое состояние объекта.

Критерий управления в общем виде задается в виде [17; 18]:

$$J(u) = \|Cy(u) - z_0\|_{H_1}^2 + (Nu, u)_U;$$

$$(Nu, u) \geq c \|u\|_U^2, \quad (2)$$

$c > 0, \forall u \in U$, u – вектор управления.

На практике задача оптимального управления режимом грунтовых вод заключается в выборе оптимального положения дрены, выбора типа дренажа и определяется оптимальный расход воды в дренах. Основной задачей является обеспечение уровня грунтовых вод в установленном диапазоне.

Для двумерного случая (плоско-параллельный поток фильтрации) рассматривается уравнение Буссинеска, которое является нелинейным и может быть решено только численными методами с помощью устойчивых сходящихся разностных схем, например, неявных схем Кранка-Николсона [11; 16].

Задача гибкого регулирования режима грунтовых вод на застроенных территориях реализуется с применением методов моделирования гидрогеологических процессов [11; 15]:

- решение прямой задачи определения уровня грунтовых вод, включая моделирование геологической среды и процесса геофильтрации с помощью уравнения Буссинеска (одномерного или двумерного) с заданием соответствующих граничных и начальных условий) [11; 15; 14];

- построение оптимизационной модели и решения задачи определения управляющих воздействий на уровень грунтовых вод с помощью решения экстремальных задач (обратная задача);

- численное моделирование решения прямой и обратной задачи по выработке оптимального управленческого решения, обеспечивающего осушение объектов и территории с минимальным осушением культурного слоя.

Математически задача формулируется для гидрогеологических разрезов в одномерной области на интервале $x_l < x < x_r$ [11].

В условиях застроенной территории, особенно со сложным рельефом, при наличии одновременно различных требований к нормам осушения в качестве критерия оптимизации выбран функционал, подлежащий минимизации:

$$J^l(h, u) = J^l_n + J^l_k, \quad l=1, 2, \dots; \quad (3)$$

где $J^l_n = \int_Q (h(x, T, u) - h_n(x))^2 dx$, – критерий управления, отвечающий за осушение объекта; $h(x, T, u)$ – полученный в результате реализации в имитационном режиме управленческих решений уровень грунтовых вод; T – расчетное время; u – управленческие решения; $h_n(x)$ – функция предельного (критического) уровня грунтовых вод для объекта; $Q = (x_1, x_2)$, область интегрирования, (x_1, x_2) – местоположение дрен.

J^l_k – слагаемое «отвечающее» за требование того, чтобы уровень воды «устраивал» прилежащий к объекту грунт, иными словами, при $J^l_k = 0$ культурный слой или парковая зона, в некоторой окрестности объекта защиты не переосушен.

Вид этого слагаемого – функционала следующий:

$$J^l_k = A_{k1} \int_{Q_1} (h(x, T, u) - h_k(x))^2 dx + A_{k2} \int_{Q_2} (h(x, T, u) - h_k(x))^2 dx, \quad (4)$$

где A_{k1}, A_{k2} – некоторые весовые коэффициенты; $h_k(x)$ – функция предельного уровня для прилежащего культурного слоя, грунта.

Предельные и критические уровни для объектов и др. сооружений приведены в работе [7]. Сформулируем теперь задачу оптимизации управления: требуется в ходе итерационного процесса минимизировать функционал $J^l(h, u)$ при условии, что профиль грунтовых вод $h(x, T, u)$ – удовлетворяет уравнению (1) с краевыми условиями.

Для многих практических задач двумерное уравнение можно свести к серии одномерных задач и с помощью принципа суперпозиции объединить полученные решения. Область дифференцирования разбивается на три части, где внутренними границами являются места расположения дрен.

Уровни в окрестности дрен h_1 и h_2 являются управляющими воздействиями, $u = (h_1, h_2)$ – вектор управления. Представим уравнение в первой области $x_l < x < x_1$:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + f(x, t), \quad 0 < t < T \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial x} &= 0, x = x_1 \\ h &= h_1, x = x_1 \end{aligned}$$

где h_1 – уровень в первой дрене, параметр управления.

Для двух других областей уравнения выписываются аналогично.

Начальное распределение $h(x, 0) = h_0(x)$, $f(x, t)$ – функция дополнительной инфильтрации (осадки, протечки труб).

Для минимизации функционала $J(u)$ – критерия цели требуется вычислить его градиент, для чего используется метод сопряженных градиентов [16].

Выпишем сопряженные уравнения для области

$x_1 < x < x_1$ для задачи (5):

$$\begin{aligned} \psi_t &= -a^2 \psi_{xx} - 2A_l^{h_k} \max(h_k - h(x, t, u), 0) \\ \psi_x &= 0, x = x_l \\ \psi &= 0, x = x_1 \end{aligned} \quad (6)$$

$$\psi(x, t = T) = 2A^{h_k} (h(x, T, u) - h_0(x));$$

Для области $x_1 < x < x_2$, для задачи (5) и для задачи (6) выписываются аналогичные уравнения.

Решаются сопряженные уравнения аналогично основным. Формальная замена направления времени с + на – приводит к тому, что значение функции задается не в

конечный, а начальный момент времени. Проводится замена переменных $t = T - t$.

Окончательно, градиент функционала определяется по формуле:

$$\begin{aligned} J' &= (a^2 (\psi'(x_2^+, t) - \psi'(x_2^-, t)), a^2 (\psi'(x_1^-, t) - \psi'(x_1^+, t))), \\ \text{если} \\ h_1 &= h_1(t), h_2 = h_2(t), \end{aligned} \quad (7)$$

и

$$J' = (a^2 \int_0^T (\psi'(x_2^+) - \psi'(x_2^-)) dt, a^2 \int_0^T (\psi'(x_1^+) - \psi'(x_1^-)) dt,$$

Через $\psi'(x_{1,2}^{\pm})$ обозначены производные ψ' решения сопряженных задач в окрестностях точек x_1 и x_2 , при этом «+» означает правую окрестность, а «-» – соответствует левой окрестности. Следовательно, $\psi'(x_1^+, t)$ и $\psi'(x_2^-, t)$ – решение сопряженной задачи в области $x_1 < x < x_2$.

Соответственно – $\psi'(x_1^-, t)$ – решение сопряженной задачи в области $x_1 < x < x_1$.

А – $\psi'(x_2^+, t)$ – решение сопряженной задачи в области $x_2 < x < x_k$.

Искомое управленческое воздействие находится методом проекции градиента и обеспечивает минимум функционалу $J(u)$ [16]:

$$u_{l+1} = P_U (u_l - \alpha_l J'(u_l)), l = 1, 2, 3 \dots \quad (8)$$

P_U – оператор проекции на пространство допустимых управлений.

Варианты расчетов выработки оптимального решения для гибкого регулирования режима грунтовых вод с условием осушения фундамента здания и

минимальным осушением культурного слоя на исторических территориях являются основой для принятия решения и позволяют сделать рекомендации по инженерным мероприятиям.

В качестве примера расчетов на рисунке 1 приводится осушение одного из объектов защиты на территории Новгородского Кремля – получено оптимальное положение дрен при полном осушении подвала [11]. В точке пересечения кривых, отражающих функции критериев защищенности объекта и культурного слоя находится оптимальное положение дрены по глубине. Получая по каждому гидрогеологическому разрезу значения оптимальных глубин для дрены, методом суперпозиции определяется место прокладки дрен. Такой подход позволяет выполнить гибкое регулирование режима грунтовых вод на застроенных исторических, в том числе горных территориях.

Разработанный метод, позволяет в автоматизированном режиме определять управленческое решение по гибкому регулированию режима грунтовых вод, обеспечивающее осушение заглубленных помещений зданий и максимально сохраняющее, при наличии, культурный слой.

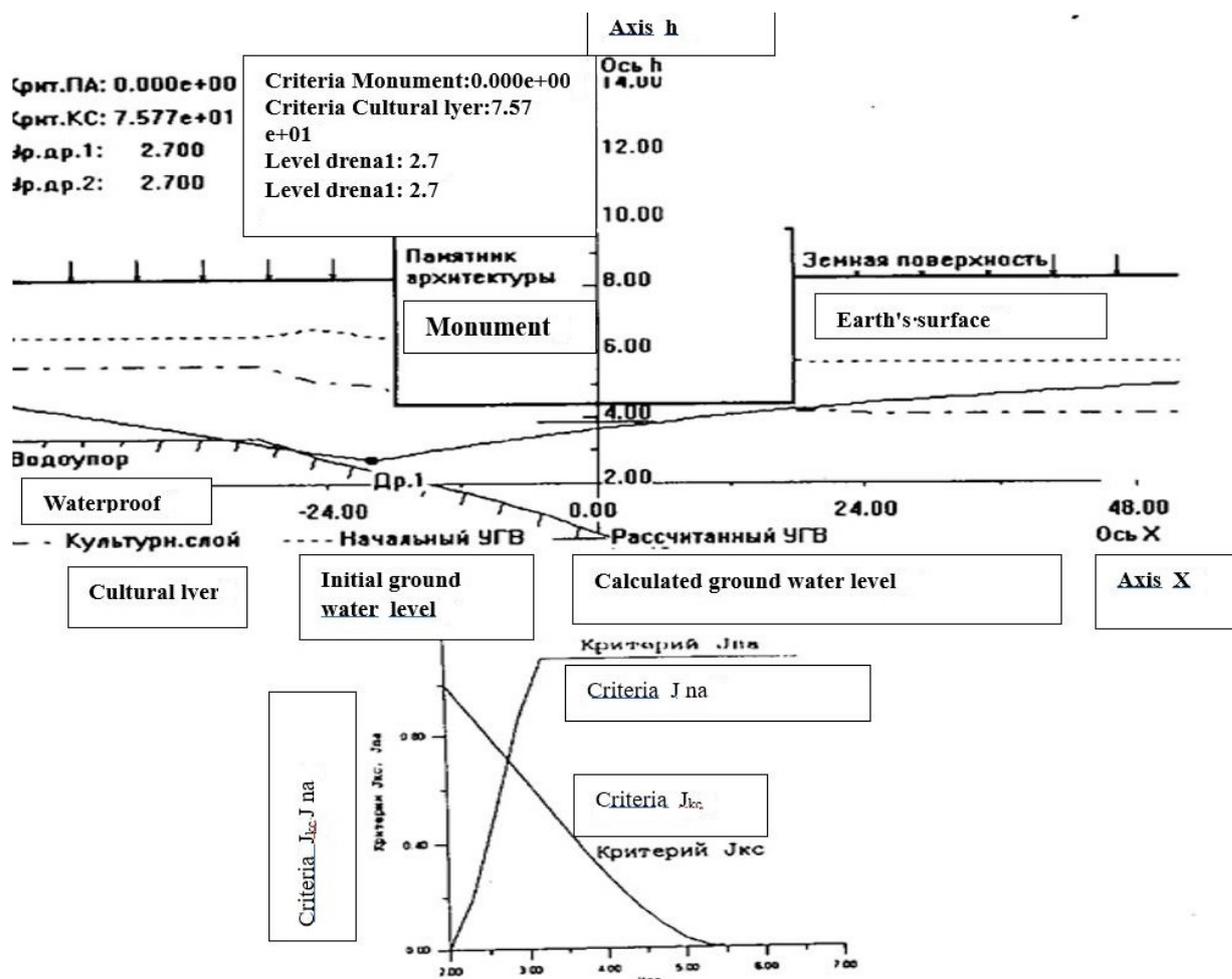


Рисунок 1. Результат расчета дрена для модельного объекта защиты: расчет положения дрена (верхний рисунок); значения критериев для памятника архитектуры и для культурного слоя (нижний рисунок)
Figure 1. The result of calculating the drainage for a model protected object: calculation of the drainage position (upper figure); values of criteria for an architectural monument and for a cultural layer (lower figure)

ВЫВОДЫ

Для повышения устойчивости горных урбанизированных территорий, особенно исторических территорий, необходимо проводить постоянное отслеживание уровня грунтовых вод, выполнять гибкое регулирование режима грунтовых вод. Предложенный подход выработки оптимального управленческого решения с применением метода решения экстремальных задач позволяет в имитационном режиме просчитывать различные варианты дренажных систем, выбирая те решения, которые максимально осушают объекты защиты, сохраняют при этом культурный слой, обеспечивая экологическую безопасность горных территорий регионов нашей страны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кюль Е.В., Марченко П.Е. Вопросы устойчивого развития горных территорий с учетом влияния опасных природных процессов (на примере Кабардино-Балкарской Республики // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2012. N 4(48). С. 89–96.
2. Атлас природных опасностей и стихийных бедствий Кабардино-Балкарской Республики / Под общей

редакцией М.Ч. Залиханова. СПб.: Гидрометеоздат, 2000. 66 с.

3. Марченко П.Е. Некоторые теоретические аспекты сравнения территориальных систем по степени подверженности опасным природно-техногенным процессам // Известия КБНЦ РАН. Нальчик, 2011. N 5. С. 82–91.
4. Устойчивое развитие горных территорий Кавказа. Коллективная монография / Керимов И.А., Снытко В.А., Широкова В.А. М.: ИИЕТ РАН, 2018. Т. 1. 589 с.
5. Банкурова Р.У., Мусаева М.Л., Джабраилова М.Р. Особенности устойчивого развития горных территорий. Устойчивое развитие горных территорий. Антропогенная деятельность // Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Грозный, 2022. С. 30–34.
6. Гуля А.Н., Караев Ю.И. Локальные индикаторы устойчивого развития горных территорий // Грозненский естественно-научный бюллетень. 2016. N 4(4). С. 11–15.
7. Арефьева Е.В., Мухин В.И. Оценка территориальной безопасности при подтоплении. М.: АПГС МЧС России, 2008. 101с.
8. Дзекцер Е.С. Закономерности формирования подтопления застраиваемых территорий, принципы прогнозирования и инженерной защиты. М.: Наука, 1987. 77 с.

9. Хоменко В.П. Суффозионные процессы на территориях городов // Проблемы инженерной геологии и инженерной сейсмологии городов и урбанизированных территорий. Материалы науч.-практ. сем., Москва, 1990. Т. 1. С. 118–124.
10. Arefeva E.V., Muraveva E.V., Frose T.Yu. Considering emergency hazards in construction and operation of infrastructures. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 687 066023 / International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety. 2019. P. 066023.
11. Арефьева Е.В. Регулирование режима грунтовых вод при подтоплении объектов и застроенных территорий // Промышленное и гражданское строительство. 2007. N 11. С. 47–48.
12. Цховребов Э.С., Гордиенко А.Н. Метод оценки экологических угроз и рисков при функционировании техносферных объектов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. N 1(65). С. 114–126.
13. Ройтман А.Г. Деформации и повреждения зданий. М.: Стройиздат, 1987. 159 с.
14. Дзекцер Е.С. Инженерная защита застраиваемых территорий от подтопления // Проектирование и инженерные изыскания. 1986. N 5. С. 27–29.
15. Гавич И.К. Теория и практика применения моделирования в гидрогеологии. М.: Недра, 1980. 358 с.
16. Васильев Ф.П. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1987. 397 с.
17. Евтушенко Ю.Г. Методы решения некорректных задач и их применение в системах оптимизации. М.: Наука, 1982. 432 с.
18. Лаврентьев М. Некорректные задачи математической физики и анализа / Лаврентьев М.М., Романов В.Г. М.: Наука, 1980. 285 с.
19. Lyons J.-L. Optimal control of systems described by partial differential equations. М.: Mir, 1972. 293 p.
20. Galeati G. Optimal dewatering schemes in the foundation design of an electronuclear plant // Galeati G., Gambolatti G. Water Resour. Res. 1988. V. 24. N 4. P. 541–552.
21. Ahlfeld D. Combining physical containment with optimal withdrawal for contaminated groundwater remediation // Ahlfeld D., Mulvey J., Pinder G. Proc. of the VI Intl. Conf. on Finite Elem. in Water resources. Portugal, 1986. P. 205–214.
22. Willis R. Water resources manager. In North China plain // Willis R., Finney B., Zhang D. / J. of Water res. Plann. and Manag. 1989. V. 115. N 5. P. 598–615.
23. Arefyeva E., Alekseeva E., Gorina L. Assessment of the vulnerability of architectural monuments to dangerous natural process // Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. V. 180. С. 159–170.
24. Muravyeva E.V., Arefyeva E.V., Danilina N.E. Improving the sustainability of cultural heritage sites using the UNIFORM. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. P. 34.
25. of Natural Hazards and Natural Disasters of the Kabardino-Balkarian Republic]. St. Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 2000, 66 p. (In Russian)
26. Marchenko P.E. Some theoretical aspects of comparing territorial systems according to the degree of exposure to dangerous natural and man-made processes. Izvestiya KBNTS RAN [News of KBSC RAS]. 2011, no. 5, pp. 82–91. (In Russian)
27. Kerimov I.A., Snytko V.A., Shirokova V.A. *Ustoichivoe razvitie gornyykh territorii Kavkaza. Kollektivnaya monografiya* [Sustainable development of the mountainous territories of the Caucasus. Collective monograph]. Moscow, IJET RAN Publ., 2018, vol. 1, 589 p. (In Russian)
28. Bankurova R.U., Musaeva M.L., Dzhabrailova M.R. Osobennosti ustoichivogo razvitiya gornyykh territorii. Ustoichivoe razvitie gornyykh territorii. Antropogennaya deyatel'nost' [Features of sustainable development of mountain territories. Sustainable development of mountain areas. Anthropogenic activity]. *Sbornik materialov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Grozny, 2022* [Collection of materials of the International scientific and practical conference, Grozny, 2022]. Grozny, 2022, pp. 30–34. (In Russian)
29. Gunya A.N., Karaev Yu.I. Local indicators of sustainable development of mountain territories. Groznenskiy estestvenno-nauchnyi byulleten' [Grozny Natural Science Bulletin]. 2016, no. 4(4), pp. 11–15. (In Russian)
30. Aref'eva E.V., Mukhin V.I. *Otsenka territorial'noi bezopasnosti pri podtoplenii* [Assessment of territorial security during flooding]. Moscow, APGS MChS Rossii Publ., 2008, 101 p. (In Russian)
31. Dzekhtser E.S. *Zakonomernosti formirovaniya podtopleniya zastraivaemykh territorii, printsipy prognozirovaniya i inzhenernoi zashchity* [Regularities of the formation of flooding of built-up areas, principles of forecasting and engineering]. Moscow, Nauka Publ., 1987, 77 p. (In Russian)
32. Khomenko V.P. Suffozionnye protsessy na territoriyakh gorodov [Suffosional processes in the territories of cities]. *Problemy inzhenernoi geologii i inzhenernoi seismologii gorodov i urbanizirovannykh territorii. Materialy nauch.-prakt. sem., Moskva, 1990* [Problems of engineering geology and engineering seismology of cities and urbanized territories [Materials of scientific and practical family, Moscow, 1990]. Moscow, 1990, vol. 1, pp. 118–124. (In Russian)
33. Arefeva E.V., Muraveva E.V., Frose T.Yu. Considering emergency hazards in construction and operation of infrastructures. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 687 066023. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety. 2019.
34. Aref'eva E.V. Regulation of the groundwater regime during flooding of objects and built-up areas. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil construction]. 2007, no. 11, pp. 47–48. (In Russian)
35. Tskhovrebov E.S., Gordienko A.N. Method of assessing environmental threats and risks in the functioning of technosphere objects. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere* [Problems of risk management in the technosphere]. 2023, no. 1(65), pp. 114–126. (In Russian)
36. Roitman A.G. *Deformatsii i povrezhdeniya zdaniy* [Deformations and damage to buildings]. Moscow, Stroizdat Publ., 1987, 159 p. (In Russian)
37. Dzekhtser E.S. Engineering protection of built-up areas from flooding. *Proektirovanie i inzhenernye izyskaniya*

REFERENCES

1. Kyul' E.V., Marchenko P.E. Issues of sustainable development of mountain territories taking into account the impact of hazardous natural processes (on the example of the Kabardino-Balkarian Republic. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2012, no. 4(48), pp. 89–96. (In Russian)
2. Zalikhanov M.Ch. *Atlas prirodnnykh opasnostei i stikhiinykh bedstvii Kabardino-Balkarskoi Respubliki* [Atlas

- [Design and engineering surveys]. 1986, no. 5, pp. 27–29. (In Russian)
15. Gavich I.K. *Teoriya i praktika primeneniya modelirovaniya v gidrogeologii* [Theory and practice of modeling application in hydrogeology]. Moscow, Nedra Publ., 1980, 358 p. (In Russian)
16. Vasil'ev F.P. *Metody resheniya nekorrektnykh zadach* [Methods of solving ill-posed problems]. Moscow, Nauka Publ., 1987, 397 p. (In Russian)
17. Yevtushenko Yu.G. *Metody resheniya nekorrektnykh zadach i ikh primeneniye v sistemakh optimizatsii* [Methods of solving ill-posed problems and their application in optimization systems]. Moscow, Nauka Publ., 1982, 432 p. (In Russian)
18. Lavrent'ev M. *Nekorrektnye zadachi matematicheskoi fiziki i analiza* [Incorrect problems of mathematical physics and analysis]. Moscow, Nauka Publ., 1980, 285 p. (In Russian)
19. Lyons J.-L. Optimal control of systems described by partial differential equations. Moscow, Mir Publ., 1972, 293 p.
20. Galeati G., Gambolatti G. Optimal dewatering schemes in the foundation design of an electronuclear plant. *Water Resources*, 1988, vol. 24, no. 4, pp. 541–552.
21. Ahlfeld D., Mulvey J., Pinder G. Combining physical containment with optimal withdrawal for contaminated groundwater remediation. *Proc. of the VI Intl. Conf. on Finite Elem. in Water resources*. Portugal, 1986, pp. 205–214.
22. Willis R. Finney B., Zhang D. Water resources manager. In North China plain. *Journal of Water resources*. 1989, vol. 115, no. 5, pp. 598–615.
23. Arefyeva E., Alekseeva E., Gorina L. Assessment of the vulnerability of architectural monuments to dangerous natural process. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022, vol. 180, pp. 159–170.
24. Muravyeva E.V., Arefyeva E.V., Danilina N.E. Improving the sustainability of cultural heritage sites using the UNIFORM.IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, p. 34.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Все авторы имеют равные права на данный совместный интеллектуальный труд. Все авторы равноценно участвовали в подготовке и написании данной работы. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

All authors have equal rights to this joint intellectual work. All the authors equally participated in the preparation and writing of this work. All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism or other unethical problems.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Елена В. Арефьева / Elena V. Arefyeva <https://orcid.org/0000-0001-6037-9663>

Ирина Ю. Олтян / Irina Yu. Oltyan <https://orcid.org/0000-0002-2178-5033>

Юрий В. Прус / Yuri V. Prus <https://orcid.org/0000-0001-9781-9458>

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации: серия ПИ № ФС77-77994 от 03.03.2020 г.

Учредитель (соучредители) журнала:
ООО Издательский Дом «КАМЕРТОН»
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет»

Издатель:
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет»
Адрес издателя: 367000, Россия, г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 59е

Адрес редакции: 367000, Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21,
Институт экологии и устойчивого развития ДГУ,
Email dagecolog@mail.ru, моб. тел. +79285375323

Главный редактор
Шестопалов Александр Михайлович, доктор биологических наук, профессор

По всем интересующим Вас вопросам обращаться в редакцию журнала
по контактам:

Гусейнова Надира Орджоникидзева, к.б.н., доцент,
Email dagecolog@mail.ru, моб. тел. +79285375323

Иванушенко Юлия Юрьевна, магистр экологии, Email dagecolog@mail.ru

С ПРАВИЛАМИ ДЛЯ АВТОРОВ НАУЧНОГО ЖУРНАЛА «ЮГ РОССИИ: ЭКОЛОГИЯ, РАЗВИТИЕ»
можете ознакомиться на сайте <http://ecodag.elpub.ru>

Founders of journal:
The limited liability company Publishing House «Kamerton»
Dagestan State University

Publisher:
Dagestan State University
367000, Russia, Makhachkala, 59e M. Yaragskogo str.,

Editorial address: 367001, Russia, Makhachkala, 21 Dakhadaeva st.
Email dagecolog@mail.ru, tel. +79285375323

Editor-in-Chief
Alexander M. Shestopalov, Doctor of Biological Sciences, Professor

CONTACT INFORMATION: SCIENTIFIC JOURNAL "SOUTH RUSSIA: ECOLOGY, DEVELOPMENT"

If you have any questions, please contact the editorial office:

Nadira O. Guseynova, Candidate of Biological Sciences, Associate
Professor, Email dagecolog@mail.ru, tel. +79285375323

Yuliya Yu. Ivanushenko, master of ecology, Email dagecolog@mail.ru

Подписные индексы в каталоге «Газеты и журналы» Агентства «Роспечать»:
36814 (полугодовой) и 81220 (годовой).
Цена свободная.

Перепечатка без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.
Оригинал-макет подготовлен в Институте экологии и устойчивого развития ДГУ.

Подписано в печать 29.03.2024 г.
Объем 189 стр. Тираж 100. Заказ № 12.
Формат 70x90%. Печать офсетная.
Бумага офсетная № 1.
Тиражировано в типографии издательства ДГУ
по адресу: г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 59е